油圧の加圧を継続した手順の現場における再現確認結果
（テンションボルト用ナットの緩む時点（規定油圧：73.5MPa）～ポンプ停止時までの聞き取り調査結果からの手順を現場にて再現。）

聞き取り調査結果からの加圧継続の手順

①作業班長は、加圧継続中に1本目のナットの緩みを確認し、緩んだことを合図（本合図は、ポンプ操作者へのポンプ停止の合図）したが、ポンプ操作者は気がつかずに加圧を継続した。

②作業班長は、1本目のナットを油圧ジャッキボルトに当たるまで、ナットを緩み方向に回転させたが、通常1回転するところが、1/2 回転しか回転しないことを確認した。その後、自身が担当する他の3本のナットの緩み状況を確認し、1本目と同様な状況であることを確認した。

③作業班長は、残りの4本のナットを担当している作業員(B)にナットの緩み状況の確認を指示し、同様に 1/2 回転しか回転しないことを確認した。

④同作業エリアにいた作業監督（正）は、通常時より手間取っていることに気が付き、作業班長に作業のやり直しを指示した。作業班長は8本のナットを元の位置に戻すように指示し、その状況を確認し、ポンプ停止を指示した。ポンプ操作者は作業班長からの指示に従い、ポンプを停止し油圧を開放した。

作業監督(正)
作業員(A)
(ポンプ操作者)
作業班長
作業員(B)

	1回目	2回目	3回目	平均
確認時間(秒)	89	95	106	97

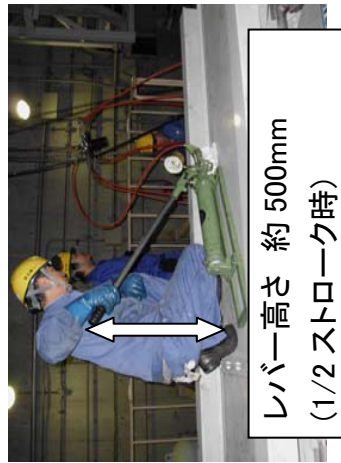
・ナットが緩む時点（規定油圧：73.5MPa）～油圧ポンプ停止までの加圧が継続された所要時間は、平均 97 秒であることが確認された。
・油圧値の検証に用いる所要時間は、上記 97 秒に油圧ポンプの操作及び操作時間のバラツキを考慮し、100 秒とする。

再聞き取り調査結果から得られた、ポンプ操作方法について

①ポンプの操作開始時は、1/2 ストローク/2秒（押しと引きの往復操作）で操作していた。

②操作中、ポンプのレバー操作が徐々にが重くなり、1/2ストローク/2秒での操作から1/6～1/4 ストローク/2秒に変更して操作していた。（現場の再現確認を行い、50.0MPa で 1/2 ストローク/2秒の操作が困難であることを確認。）

レバー高さ 約 500mm
(1/2 ストローク時)

レバー高さ 約 270mm
(1/6 ストローク時)

他のストロークのレバー高さ
1/4 ストローク（レバー高さ 約 330mm）
1/5 ストローク（レバー高さ 約 300mm）

聞き取り調査結果及び現場の再現結果のまとめ

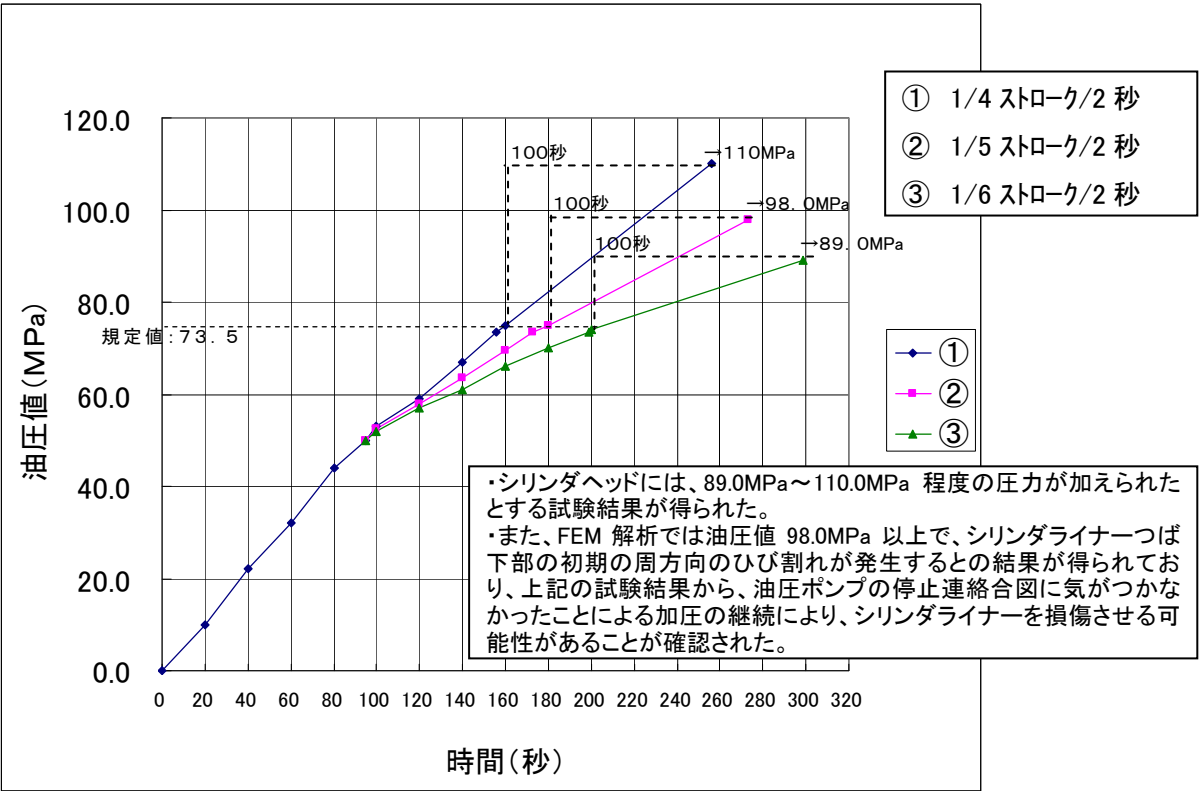
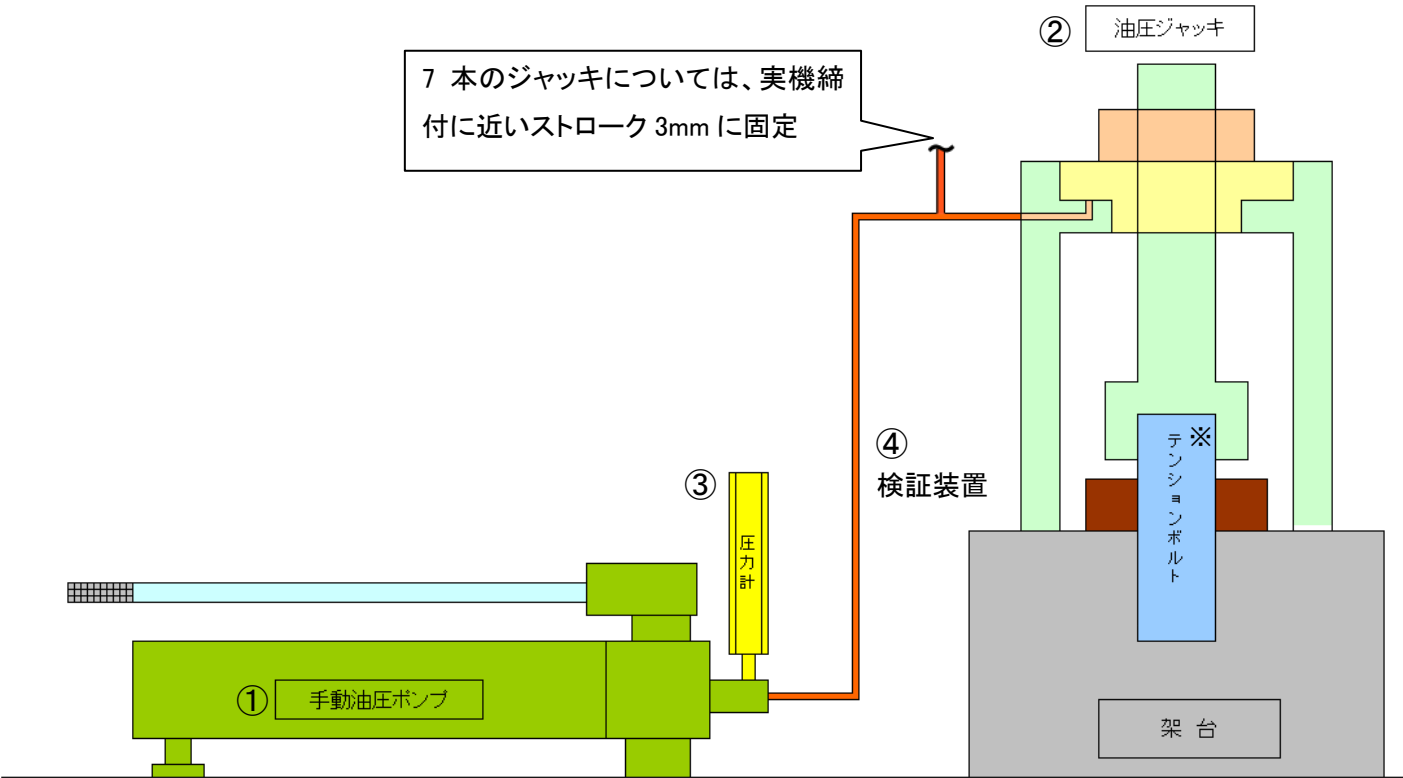



図 過大圧値(油圧値)の検証試験結果

※：メーカ保管品を切断して、架台に取付けた。

①～③については、もんじゅの分解作業で使用するもので実施。

図 検証装置概略

油圧ポンプ保護用安全弁の操作手順書

UP－21	パーツNO	K4	パーツ名称	調圧	D4208H	12

NO	作業工程	作業工具	部品	条件、注意事項
1	圧力計の取付	継手（低圧） 100Kﾒｰﾀ 3000Kﾒｰﾀ ﾓﾝｷｰ	62	
2	低圧安全弁の調整	ﾄﾞﾗｲﾊﾞ（－） ﾚﾊﾞ一式 ピン類 低圧圧力計		25±5kgf/cm²（2.5±0.5MPa）に調整
3	100Kﾒｰﾀの取外し 継手の取外し 吐出口ﾌﾟﾗｸﾞ取付	ﾓﾝｷｰ	61，69	#61コーンの座りに注意 #69 規定ﾄﾙｸ：800kgfcm（80Nm）
4	高圧安全弁の調整	ﾄﾞﾗｲﾊﾞ（－） ﾚﾊﾞ一式 ピン類 高圧圧力計		2100±50kgf/cm²（210±5MPa）に調整
4	200kgf/cm² （20MPa） でのﾘｰｸ量の確認	ﾄﾞﾗｲﾊﾞ（－） ﾚﾊﾞ一式 ピン類 高圧圧力計		1回もみ上げた状態で1分間で10kgf/cm² （1MPa）以下
5	2000kgf/cm² （200MPa） でのﾘｰｸ量の確認	ﾄﾞﾗｲﾊﾞ（－） ﾚﾊﾞ一式 ピン類 高圧圧力計		1回もみ上げた状態で1分間で100kgf/cm² （10MPa）以下
6	ﾋﾞｽの取付	ﾄﾞﾗｲﾊﾞ（－）	16，27	ﾊﾟｰﾂNO　C（高圧安全弁）で組み立てたものを使用
7	3000Kﾒｰﾀ取外し ﾒｰﾀ用ﾌﾟﾗｸﾞ取付	ﾓﾝｷｰ	64，65，70	#62コーンの座りに注意 #70 規定ﾄﾙｸ：800kgfcm（80Nm）

部番	部品名称		数	部番	部品名称		数
	ﾊﾟｰﾂNO　C（高圧安全弁）			64	ブッシングGB－2000	UP-22B#74	1
16	ビス	P-1B#16	2	65	スリーブGA－2000	UP-22B#75	1
27	Oリング　#7	P-1B#29	2	69	プラグ　M22*1.5	UP-22B#87	1
61	コーンHC－2000	UP-22B#71	1	70	プラグ　G1／2	UP-22B#86	1
62	コーンGC－2000	UP-22B#72	1				

ﾊﾟｰﾂNO　C
高圧
#70　プラグPF1/2
#65　ｽﾘｰﾌﾞGA-2000
#64　ﾌﾞｯｼﾝｸﾞGB-2000
#62　コーンGC-2000
#61　コーンHC-2000
#69　プラグM22*1.5
ﾊﾟｰﾂNO　C
低圧

「非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機 C号機No.8ｼﾘﾝﾀﾞひび割れ」(作業要領書の記載内容確認状況)時系列

日時	作業内容	A社 作業監督(正)	原子力機構 機械保修課 担当A	担当B	TL	課長代理	課長	備考
		作業監督(正)は工事グループマネージャーの指示を受け、「H22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書」の作成に着手した						作業員の考え、思い／作業内容の補足／推測、可能性
		作業監督(正)は過去の「BC号機の分解点検」要領書を参照し、「H22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書」のR0版を作成し社内で承認後、機構担当に提出した。	機構担当AはH22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書R0版を確認し、問題なしと判断した。	機構担当BはH22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書R0版を確認し、問題なしと判断した。	TLはH22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書R0版を確認し、問題なしと判断した。	課長代理はH22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書R0版を確認し、問題なしと判断した。	課長はH22年度非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機設備(機械設備)点検要領書R0版を確認し、承認した。	
		過去から実績のある作業であることから、シリンダヘッドの分解作業の手順について記載しなくても問題ないと考えていた。	①要領書にシリンダヘッドの分解作業の手順が記載していなかったが、過去から実績のある作業であるため、シリンダヘッドの分解作業の手順が要領書に記載がなくても問題なく作業が実施できると考え、特にコメントはしなかった。 ②シリンダヘッドの分解作業は、施工メーカの現場管理によって、計画手順どおり実施されると考えていた。	①機構担当Aは本作業が始めてであることを知っていたが、本作業は過去から実績のある作業であるため、要領書の記載チェックに関するアドバイスは必要ないと判断した。 ②要領書にシリンダヘッドの分解作業の手順が記載していなかったが、過去から実績のある作業であり、シリンダヘッドの分解作業の手順が要領書に記載がなくても、施工メーカの現場管理がしっかりしていると思い、特にコメントはしなかった。	本作業は過去から実績のある作業であるため、要領書の記載内容には問題ないと考えた。	本作業は過去から実績のある作業であるため、要領書の記載内容には問題ないと考えた。	本作業は過去から実績のある作業であるため、要領書の記載内容には問題ないと考えた。	
		①従前から要領書にはシリンダヘッド分解時の手順の記載はしていない。 ②もんじゅ提示の取扱説明書はシリンダヘッド取付時のナット締付圧力基準値と油圧ジャッキの取付方法が記載されている。	①もんじゅ提示の取扱説明書はシリンダヘッド取付時のナット締付圧力基準値と油圧ジャッキの取付方法が記載されている。 ②疑問点等について機構担当Bに質問して確認しなかった。 ③要領書をチェックする際、取扱説明書は見ていなかった(取説が有用であるという認識が薄かった)。					
		点検要領書R0版が原子力機構に承認されたので、点検要領書W0版を作成し、機構担当に提出した。						
			機構担当Aは点検要領書W0版を確認し、上覧した。	機構担当Bは点検要領書W0版を確認し、上覧した。	TLは点検要領書W0版を確認し、上覧した。	課長代理は点検要領書W0版を確認し、上覧した。	課長は点検要領書W0版を確認し、承認した。	

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（油圧計未装着）」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（油圧計未装着）」時系列
日時
作業内容
A社
作業監督（正）
作業監督（副）
B社
作業班長
・作業指示
・締め付け治具確認
・油圧計確認
作業員（A）
・締め付け治具確認
原子力機構　機械保修課
担当
TL
課長代理
課長
備考
13:30
No.8シリンダヘッド取外し作業準備
油圧計取り付け
作業監督（副）はシリンダヘッド取外しのため、シリンダヘッド締付け治具（油圧ジャッキ、ホース）及び油圧ポンプの準備を指示
作業班長は作業員（A）にシリンダヘッド締付け治具（油圧ジャッキ、ホース）及び油圧ポンプの準備及び外観確認を実施するよう指示。
作業員（A）はシリンダヘッド締付け治具（油圧ジャッキ、ホース）及び油圧ポンプの外観確認を行う。
作業班長に指示された器具のみ確認を行っていたので、油圧計（A）本体は見ていない
作業班長は油圧ポンプに油圧計（A）を取り付けようとしたが、油圧計と油圧ポンプの取合口径が合わず、油圧計（A）の取付不可能であることを確認。
作業員（A）はシリンダヘッド締付け治具（油圧ジャッキ、ホース）及び油圧ポンプの外観確認結果異常がない事を作業班長に報告。
作業監督（正）は油圧計（A）の取付け不可と作業監督（副）から連絡を受けた。
油圧計(A)の取付け不可は経験を有す作業班長が言うことだから間違いないと思った。
自分で取り付けようとは考えなかったので確認しなかった。
×2
作業監督（副）は油圧計（A）の取付けは不可と作業班長から連絡を受け、現場監督（正）に報告
油圧計の管理に関しては、作業監督（正）に一任していたので、作業監督（正）の指示を仰ごうと思った。
①自分で取り付けようとは考えなかった。
②サイズの変換継手等を用いる対策は考えなかった。
作業班長は油圧計（A）が油圧ポンプへの取付けが不可能であることを作業監督（副）に報告
予備の油圧計を準備しているだろうと思った。
サイズ変換継手等を用いることは考えなかった。
作業監督（正）は油圧計（A）の代替で原子力機構が所有している油圧計（B）を作業監督（副）に取付けるよう指示した。
過去に油圧計（B）は油圧ポンプに取り付けた実績がある事を知っていたので、取付け可能だと思った。
×5
作業監督（副）は作業監督（正）の指示を受け、作業班長に油圧計（B）を油圧ポンプに取付けるよう指示した。
油圧計の管理に関しては、作業監督（正）に一任している。
作業班長は油圧計（B）を油圧ポンプに取付けようとしたが、取付かなかった。
①作業班長は電動式油圧ポンプの油圧計取付け経験はあったが、手動式油圧ポンプは初めてであった。
②油圧計（B）取合い部は、ねじ山が動くものであり、見慣れていない構造で、取付け方法が分からなかった。
③油圧計（B）の取付けが出来ないことを作業監督（正）（副）や作業員には相談しなかった。
×3
×4
作業監督（正）は油圧計（B）の取付け不可を作業監督（副）から連絡を受け、油圧計（B）の取付け不可と判断した。
①油圧計（B）の取付け不可はベテランの作業班長が言うことだから間違いないと思った。
②過去に取付けの実績があることは知っていたが、油圧ポンプ又は油圧計（B）の取合部構造を変更した等、原子力機構側作業の影響により、取付けが不可能になったと思った。
作業監督（正）は他プラントで手動式油圧ジャッキの使用経験があり、油圧計の取付方法を知っていたが、自分で取り付けようとは考えなかった。
作業監督（副）は油圧計（B）の取付け不可と作業班長から報告を受け、作業監督（正）に報告
油圧計の管理に関しては、作業監督（正）に一任していたので、作業監督（正）の指示を仰ごうと思った。
自分で取り付けようとは考えなかった。
作業班長は油圧ポンプに油圧計（B）が取付かないことを作業監督（副）に報告。

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（油圧計未装着）」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（No.8テンションボルトナット緩め作業）」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ(No.8テンションボルトナット緩め作業)」時系列

日時	作業内容	A社 作業監督(正)	A社 作業監督(副)	B社 作業班長・作業指示・ナット緩め作業	B社 作業員(A) 油圧ポンプ作業	B社 作業員(B)・ジャッキ取付け作業・ナット緩め作業	原子力機構 機械保修課 担当	TL	課長代理	課長	備考

作業監督(正)

作業監督(正)はシリンダヘッド取外しのため、テンションボルトナット緩め作業の開始を指示。

作業中の詳細な指示は作業班長が実施すると考えていた。

①緩め作業中は常時監視している。
②作業中に詳細な指示はしていない。
③作業監督(正)は油圧の規定値を知っており、重要性についても認識していたが、作業班長の管理下で作業を実施した。

作業班長

作業班長は作業員(A)(B)に役割分担と合図についての打合せをした

作業員(A)

作業員(A)は作業班長と作業員(B)と打合せを行った。

作業員(B)

作業員(B)は作業班長と作業員(A)と打合せを行った。

打合せにて以下のことを確認した。
①作業班長と作業員(B)はナット緩め、作業員(A)は油圧ポンプ操作を行う。
②油圧ポンプを停止するタイミングは1本目の「ナットが緩んだ」の合図で停止することとした。

・作業員は油圧の規定値を知っていた。

・作業内容に対して作業員の配置が悪かった。 ×10

作業班長はNo.8シリンダのテンションボルトのナット緩め作業開始及び油圧ポンプの加圧を指示

作業班長はナットの緩み状況を確認(ナット⑤～⑧を担当)。

作業員(A)は油圧ポンプでの加圧を開始。

作業員(B)はナットの緩み状況を確認(ナット①～④を担当)。

作業班長は1本目のナットの緩みを合図。

作業員(A)が加圧を停止したかは確認していない。

作業員(A)はナットが緩んだ合図があったが、油圧ポンプでの加圧を停止しなかった。 ×8

ナットが緩んだ合図があったが、油圧ポンプ停止の合図だとは気付かず、加圧が必要だと思った。 ×9

作業班長は1本目のナットを油圧ジャッキボルトに当てるまで、ナットを緩み方向に回転させた結果、1/2回転しか回転しなかった。

2本目以降のナットで確認しようと思い、作業を継続した。

作業班長は2本目のナットの緩みを合図

作業員(B)は1本目のナットの緩みを確認した。

ナットが緩んだ合図をした時に、ポンプの加圧は停止しているだろうと思い、加圧停止の合図はしていなかった。

加圧を停止したかは確認していない。

作業班長は2本目のナットを油圧ジャッキに当てるまで、ナットを緩み方向に回転させた

テンションボルトのナットは1回転するはずが、1/2回転しか回転しなかった

作業員(B)は1本目のナットを油圧ジャッキボルトに当てるまで、緩み方向に回転させたが、ナットが1回転しなかったため、手を止めた。

テンションボルトのナットは1回転するはずが、1/2回転しか回転しなかったことを不思議に思った。

作業班長は3本目のナットの緩み合図。

テンションボルトのナットは1回転するはずが、1/2回転しか回転しなかった

図

図 No.8シリンダヘッド取り外し現場作業員配置

・作業内容に対して作業員の配置が悪かった。 ×10

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ(No.8テンションボルトナット緩め作業)」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（No.8テンションボルトナット緩め作業）」時系列
日時
作業内容
A社
作業監督(正)
作業監督(副)
B社
作業班長 ・作業指示 ・ナット緩め作業
作業員(A) 油圧ポンプ作業
作業員(B) ・ジャッキ取付け作業 ・ナット緩め作業
原子力機構 機械保修課
担当
TL
課長代理
課長
備考
作業班長は、テンションボルトのナットをシリンダヘッドに当たるまで締め戻した。
作業員(B)は、テンションボルトのナットをシリンダヘッドに当たるまで締め戻した。
☆増し締めによる過大圧の可能性 ①過大圧により、テンションボルトが規定長さより伸びた状態となった。 ②テンションボルトが規定長さより延びた状態でナット締め戻したため、ナットの締め戻し量が増え、増し締めした可能性がある。
×－12
☆増し締めによる過大圧の可能性 ①過大圧により、テンションボルトが規定長さより伸びた状態となった。 ②テンションボルトが規定長さより延びた状態でナット締め戻したため、ナットの締め戻し量が増え、増し締めした可能性がある。
×－12
作業班長は、全てのナットの締め戻しを確認し、油圧ポンプの圧力開放を指示
作業員(A)は油圧ポンプの加圧を停止し、圧力逃し弁開放により降圧実施。
作業班長は、油圧ポンプの圧力開放を確認し、作業監督(正)に報告
作業監督(正)は作業班長に油圧ジャッキ設置時にテンションボルトに当たるまで油圧ジャッキボルトを締込み、１回転戻し、ナットとの隙間を確保することを注意し、治具の再セットを指示。
作業班長はテンションボルトに当たるまで油圧ジャッキボルトを締込み、１回転戻し、ナットとの隙間を確保することを作業員(B)に指示。
1度間違えているので、今回は適切にジャッキをセットするよう指示をしようと思った。
メーカ自主作業なので治具を再セットした事を機構担当には報告する必要はないと思った。
作業監督(正)は油圧ジャッキ再取付の指示をしたが、確認はしていない。
作業班長はテンションボルトに接続している油圧ジャッキボルトを締め込み、ジャッキボルトを１回転戻し、ナットとのすき間を確保した。
作業員(B)はテンションボルトに接続している油圧ジャッキボルトを締め込み、ジャッキボルトを１回転戻し、ナットとのすき間を確保した。
作業監督(正)は油圧ジャッキの再セットの完了を作業班長から報告を受けた
作業班長は油圧ジャッキの再セットを完了した事を作業責任者に報告した。
作業監督(正)はシリンダヘッド取外しのため、テンションボルト締付けナット緩め作業の再開及び油圧ポンプでの加圧を指示
①緩め作業中は常時監視している。 ②作業中に詳細な指示はしていない
作業班長はNo.8シリンダのテンションボルトのナット緩め作業再開及び油圧ポンプの加圧を作業員(A),(B)に指示。

「非常用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ発電機 C号機No.8ｼﾘﾝﾀﾞひび割れ（No.8テンションボルトナット緩め作業）」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ(手入れ～外観検査)」時系列

「非常用ディーゼル発電機 C号機No.8シリンダひび割れ（手入れ～外観検査）」時系列

日時	作業内容	A社 作業監督（正）	A社 作業監督（副）	B社 作業班長 作業指示、手入れ作業	B社 作業員(A) 手入れ作業	原子力機構　機械保修課 担当	TL	課長代理	課長	備考
12/1	No.８のシリンダライナーの外観検査	作業監督（正）はシリンダライナーの外観検査を実施	外観検査の判定基準 ・内外面に傷、腐食、発さび等の異常がないこと							
		作業監督（正）はシリンダライナーつば下を目視にて確認し、異常がなく合格と判定した								
		作業監督（正）はシリンダライナーつば上を目視にて確認し、異常がなく合格と判定した	①シリンダライナーに過大な圧力がかかったことによる異常が発生しているという認識はなかった ②通常の外観検査は以下の点を重点的に検査するよう心掛けている。 ・つば上／下のシート面 ・Oリング取付け溝 ・内面のかじり ・その他、つば下R部を含むライナ外面全体の腐食状態等異常がないこと ③作業監督は①、②の着眼点から、シリンダライナーに割れ等の確認は出来なかった。 ④目視検査なので、触診は行っていない			機構担当はNo.８のシリンダライナーの各部を目視にて確認し、異常がなく合格であることを確認した（A社と同時立会い）				
		作業監督（正）はシリンダライナー外面（Oリング溝含む）を目視にて確認し、異常がなく合格と判定した				事前に、作業監督（正）が確認している事から、問題ないと思った。 ①外観検査時はシリンダライナーの内面／外面、及びつば部分（つば下R部を含む）を全体的に確認している ②事象が発生したつば下R部は集中的に確認していなかった。 ③機構担当は①、②の着眼点から、シリンダライナーに割れ等異常は確認出来なかった ④目視検査なので、触診を行っていない。				
		作業監督（正）はシリンダライナー内面を目視にて確認し、異常がなく合格と判定した		・作業監督者及び機構担当はシリンダライナーつば下R部を外観点検で確認したが、外観点検では確認できないひび割れであった可能性がある。		シリンダライナー外観検査方法 ・監督（正）と機構担当が各々ハンドライトで検査部分を照らしながら表面の状態を確認した。 ・内面については縦置きの状態で上部からライトで照らして確認を行った。				
12/27	1C-DGの無負荷試運転									
12/28	1C-DGの負荷試運転									
			No.８シリンダライナー部に異常確認							

要因分析
（1／2）
発生事象
要因分析調査
原　因
再発防止対策
No.8のシリンダライナーにひび割れが発生した。
シリンダライナーに過大な圧力がかかった。
テンションボルトに過大な引張力が掛かった。
テンションボルトを緩める際に油圧治具で基準値より過大な油圧をかけた。
圧力計未装着
作業員は油圧治具の圧力が確認できなかった。
作業班長は油圧治具に油圧計を取付けなかった。
作業監督（正）は油圧計を取り付けずに作業をすることを指示した。×1
油圧計を2つ（A及びB）準備していたが、取付けられなかった。
油圧計Aは油圧ポンプとの取合口径が合わなかった。
作業監督（正）は油圧計Aの取合口径を確認しなかった。×2
油圧計Aは、もんじゅと同型のDGの点検で使用しているものであり、使用できると思った。
作業監督（正）は径を確認してまで、油圧計Aを使用するつもりはなかった。
作業監督（正）はもんじゅに油圧治具用の油圧計Bがあることを知っていた。
作業監督（正）は前々回の点検時に油圧計Bを使用していたということを前任者から聞いていた。
作業班長は油圧計Bの取付け作業を行ったが、取り付けられなかった。
作業班長は油圧計の取付け方が分からなかった。×3
作業班長は油圧計の取付け部の知識が不足していた。
作業班長は油圧計の取付けが出来ないことを作業監督（正）（副）や作業員には相談しなかった。×4
作業監督（正）は作業班長より油圧計Bが取付けられないとの報告を受け、取付けられないと判断した。×5
作業監督（正）は作業班長の報告が間違いないと思った。（作業班長は約30年の経験があったため、信用した。）
作業監督（正）は油圧治具の油圧計取付け部が変更されていると思った。
作業監督（正）は油圧計Bが原子力機構の所有品のため、取合部が変更されていると思った。
作業監督（正）は油圧計がなくても作業ができると思った。×6
作業監督（正）はナットの緩め作業程度であれば、圧力の確認は必要ないと思った。
作業監督（正）はナットが緩んだら直ぐに加圧を停止すれば問題がないと思った。
作業監督（正）は油圧計を取り付けないことが計画外作業とは思わなかった。
要領書に油圧計に関する記載がなかった。
要領書には詳細な分解手順が記載されていなかった。×7
作業監督（正）はシリンダヘッド分解作業が、過去から実績のある作業なので、手順の記載がなくても問題ないと考えていた。
原子力機構担当者はシリンダヘッド分解作業が、過去から実績のある作業なので、手順の記載がなくても問題ないと考えていた。
原因：作業要領書の記載不足
（×6、×7⇒×1）
作業要領書中のシリンダヘッド分解手順に、油圧ポンプに油圧計を取り付ける等、詳細な記載がなかったため、油圧系の取扱いが現場の作業班長にゆだねられる状況にあり、作業班長は油圧ポンプへの油圧計の取付け方を知らなかったことによる。
そのため、作業監督（正）はテンションボルト用ナットが緩んだら、直ぐに油圧ポンプの加圧を停止すれば問題ないと考え、油圧計未装着状態でもシリンダヘッド分解作業ができると判断し、油圧計未装着状態で作業を実施することを指示した。
シリンダヘッド分解時の手順や工具の取扱方法を明記するとともに、ナット緩め時の圧力を記録することも追加する。
：確認された事実
：聞き取り調査
：原因
：その他関連事項
：再発防止対策

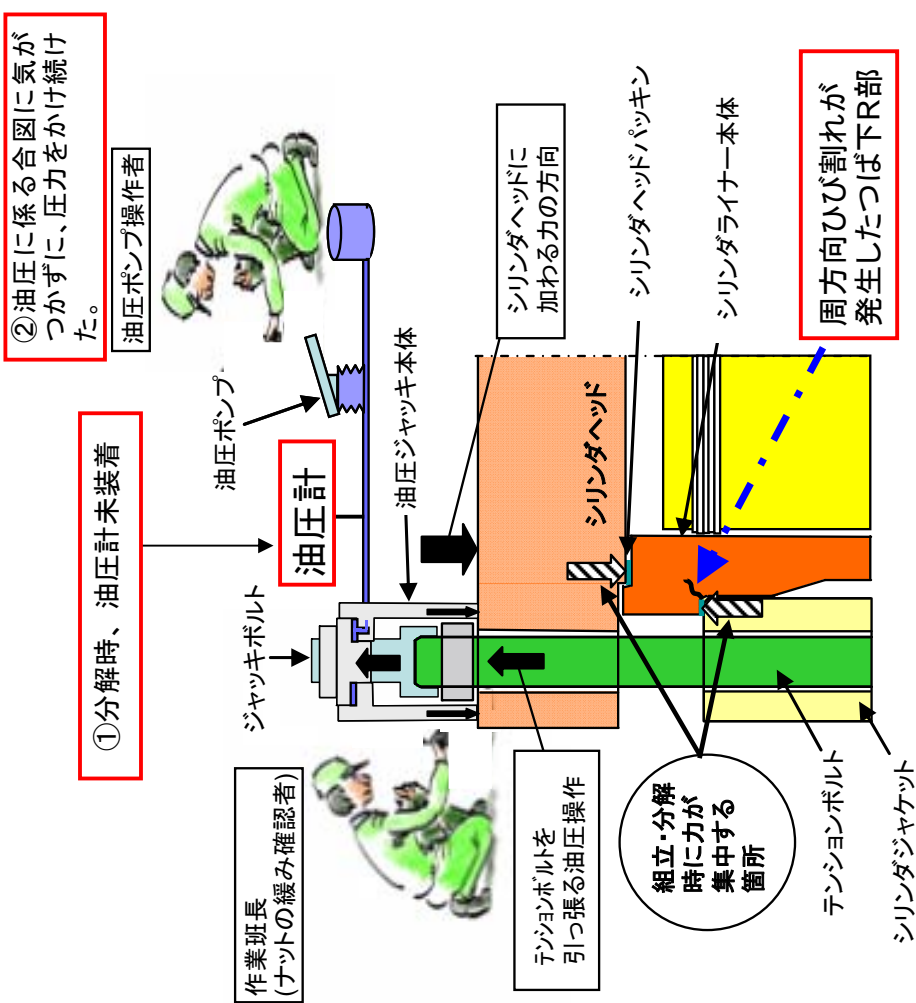
要因分析

（2／2）

発生事象
要因分析調査
原　因
再発防止対策
ナット緩め時の過大圧
ポンプ操作者はナットが緩んだ合図があったが、ポンプ停止の合図だとは気がつかず、加圧を停止しなかった。×8
作業監督（正）はポンプの加圧を止めなかった。
作業監督（正）は作業班長が作業指示をすると思っていた。
ポンプ操作者は加圧が必要だと思った。×9
ポンプ操作者はテンションボルト用ナットが緩んでいないと思った。
作業班長は、ポンプの加圧を止められなかった。
作業班長は、ポンプ操作者の動きを見れなかった。
作業員Bのテンションボルト用ナットの緩め作業が手間取っていた。
作業班長は、作業員Bのナット緩め作業状況を確認していた。
作業員Bのテンションボルト用ナットの緩め作業が手間取っていた。
作業員Bは油圧治具にナットが当たって、ナットが緩められなかった。
作業班長はナット緩め作業に従事していた。
作業班長は作業前の打合せ時に、自らナット緩め作業に従事することを決めた。（作業内容に対して、作業員の配置が悪かった。）×10
ジャッキボルトのセットが不適切であった。
作業監督（副）はジャッキボルトのセット状態を確認しなかった。
作業監督（副）は作業班長にジャッキボルトのセットに関して指示すればできると思った。
作業班長及び作業員Bは、他プラントでのDG点検において、油圧ジャッキの取扱経験があった。
作業班長はジャッキボルトのセット状態を確認しなかった。×11
作業班長は作業員Bにジャッキボルトのセットに関して指示すればできると思った。
作業員Bは他プラントでのDG点検において、ジャッキの取扱経験があった。
原因：作業体制の不備
（×10→×8）
本来、今回の作業をマネジメントすべき作業班長（作業要領書の本作業の管理区分は、作業班長が立会確認、作業監督（正）が記録確認）が、テンションボルト用ナットの緩め作業に従事しており、作業班長は油圧ポンプの操作者の動きが確認できず、また、明確な油圧ポンプの加圧／停止指示を行なわず、この結果、ポンプ操作者はポンプの停止指示がなかったと判断したことから加圧を継続し、シリンダライナーに過大圧が負荷された
シリンダヘッド分解時の作業体制（作業指揮者、ナット緩め作業者、ポンプ操作者）を明確に区分し、記録することを明記する。
原因：油圧ジャッキの取扱いの周知不足
（×11→×9→×8）
作業前に油圧ジャッキの取扱いの周知を行なっていなかったために、油圧ジャッキボルトの通常のセット位置の確認をせず作業を行い、結果としてテンションボルト用ナットの緩め作業に手間取り、作業者間の明確な油圧ポンプ停止合図がなく、その間も加圧が継続された。
油圧ジャッキの取扱い方法を作業前段階で、作業者全員に周知徹底する旨を明記する。
油圧ジャッキ再取付時のナット締め戻しの際に、分解前の状態よりもナットを締めこんだ。×12
テンションボルトに過大な引張力が掛かった状態でナットを締め戻した。
作業班長は過大な油圧がかかっている認識がなかった。
作業班長は加圧が停止していると思った。
作業員Bは過大な油圧がかかっている認識がなかった。
作業員Bは加圧が停止していると思った。
シリンダライナー外観検査
No.8のシリンダライナーに初期のひび割れが発生した状態で、組立を行った。
No.8のシリンダライナー手入れ後の外観目視検査の結果、異常は確認できなかった。（つば下R部の初期のひび割れを発見できなかった。）
No.8のシリンダライナーつば下R部の初期のひび割れは、外観目視点検では確認できないひび割れであった。
その他関連事項
・シリンダライナーつば下R部について、外観目視点検で確認できないひび割れが発生した可能性がある。
シリンダライナーつば下R部に浸透探傷試験（PT）を実施する。
：確認された事実
：聞き取り調査
：原因
：その他関連事項
：再発防止対策

事象発生の推定メカニズム

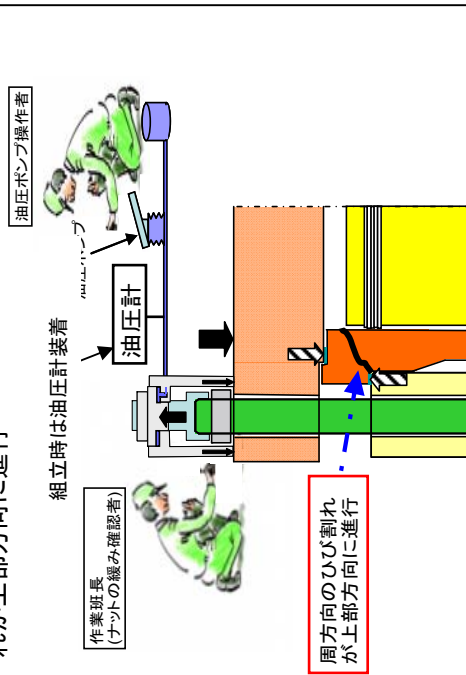
分解時

・シリンダライナーの取り外し作業について、作業要領書に油圧ジャッキ、油圧計の取り扱いが明確でなかったため、油圧管理を適切に行うことができなかった。
　このため、実際の作業では、油圧計を取り付けずに作業を行い、作業者間の油圧に係る合図が遅れ、圧力をかけ続けたことから、シリンダライナー部に過大な応力がかかり、No.8シリンダライナーの最小破断応力を超えたため、つば下Ｒ部に初期の周方向のひび割れが発生した。

シリンダ部断面概要図　概略図

組立作業時及び25%負荷運転試験時

・組立作時の締付けにより発生する応力や25%負荷運転試験時の熱及び圧力により発生する応力により、シリンダライナーの周方向全体に割れが進展するとともに、つばリング部についても、締付け等から発生する大きな応力が加わり、縦方向の割れが発生したことにより、シリンダライナーの破損に至った。

組立作業時及び25%負荷運転試験時の状況

シリンダライナーつば下Ｒ部の周方向のひび割れが上部方向に進行

シリンダライナーつば部の縦方向のひび割れが発生（13本のうち6本が貫通）し、排ガスの漏えいが確認された。

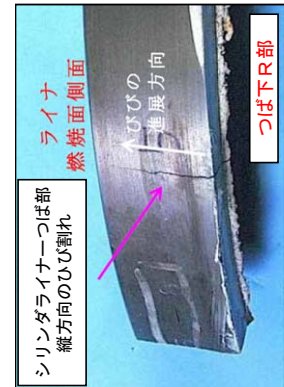
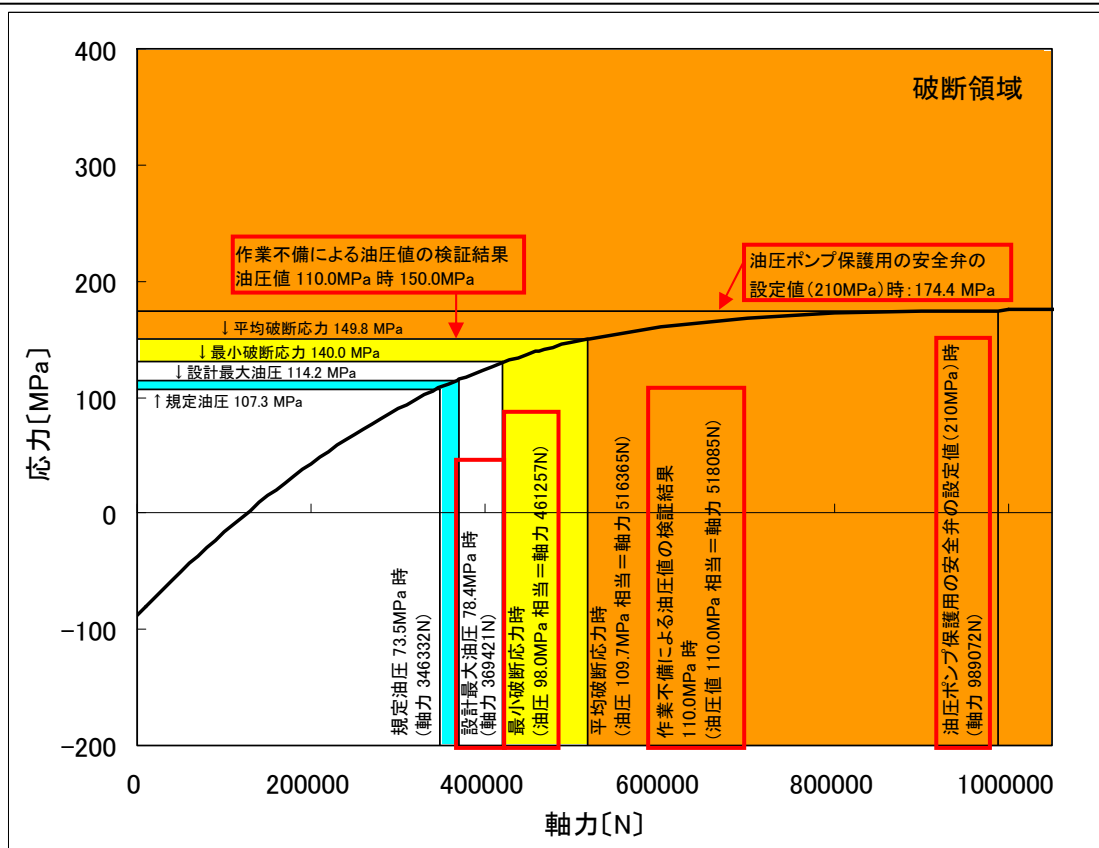



図　No.8 シリンダライナーつば下部の油圧を増加させた場合の応力結果

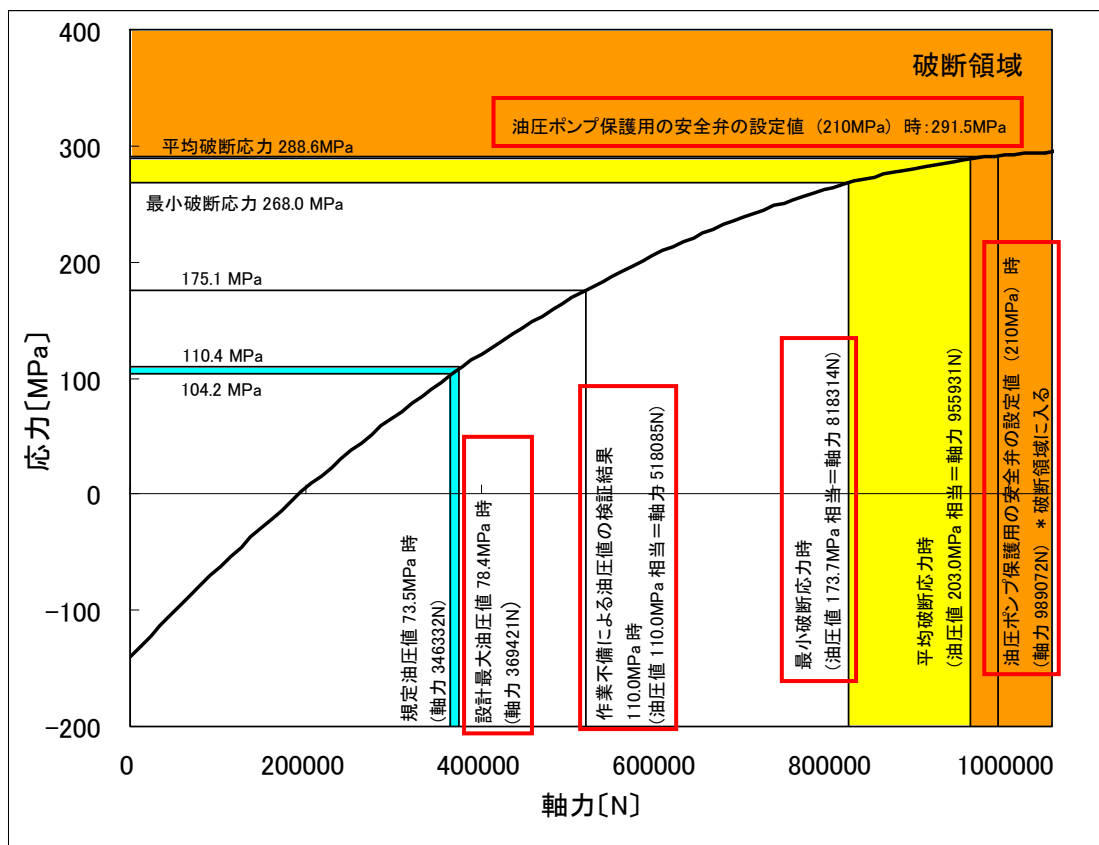



図　No.2 シリンダライナーつば下部の油圧を増加させた場合の応力結果

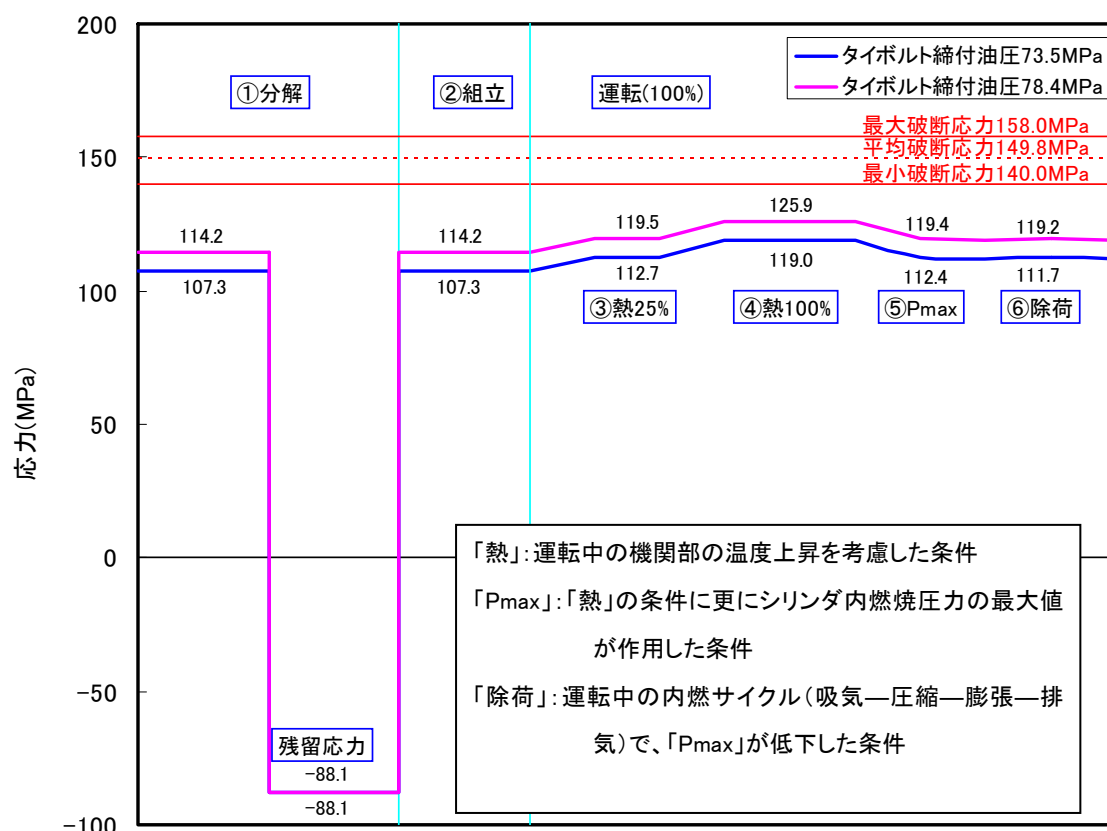



図　No.8 シリンダライナー100%負荷運転時の応力の時系列変化

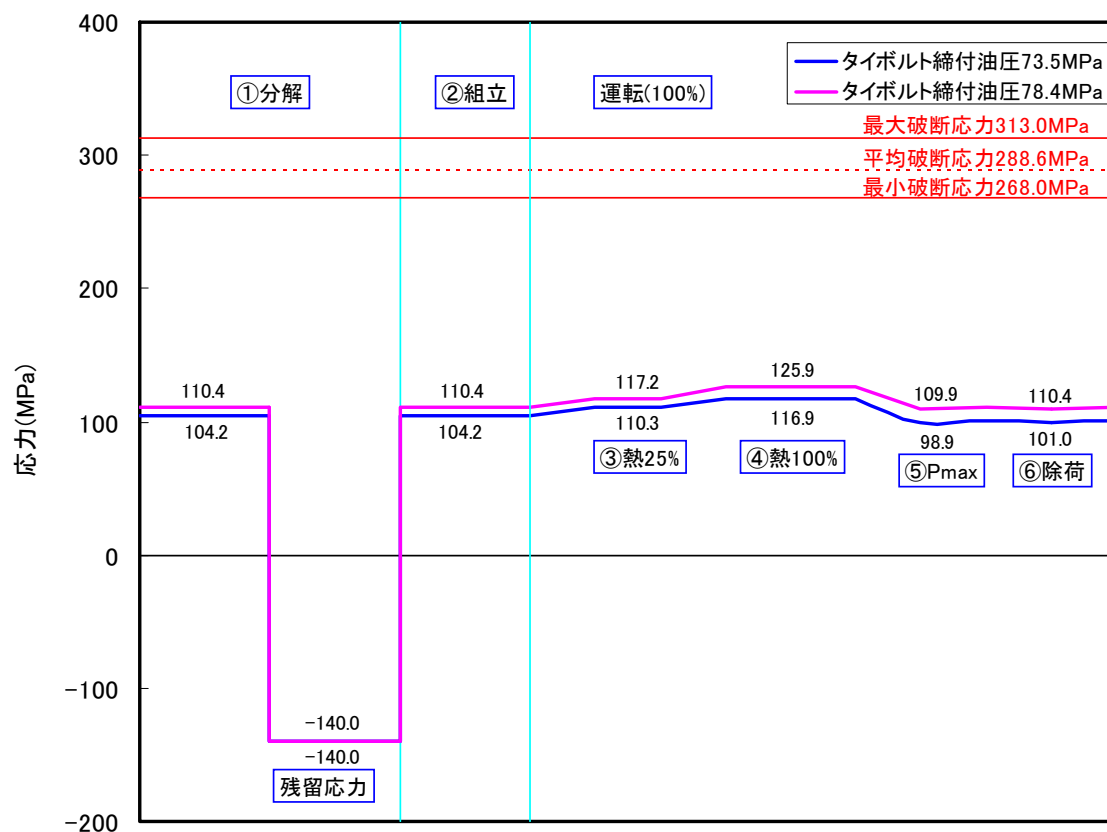
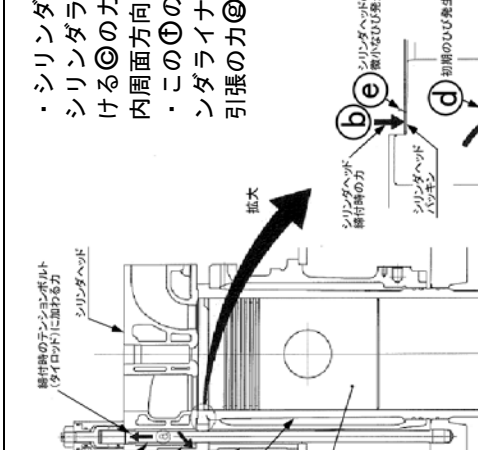
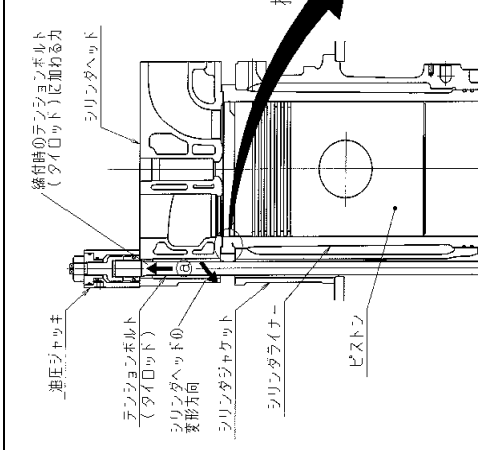
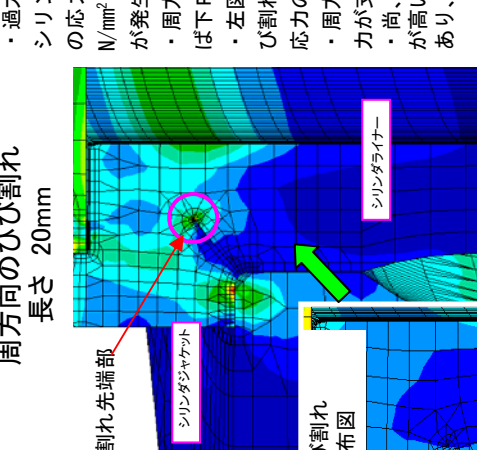
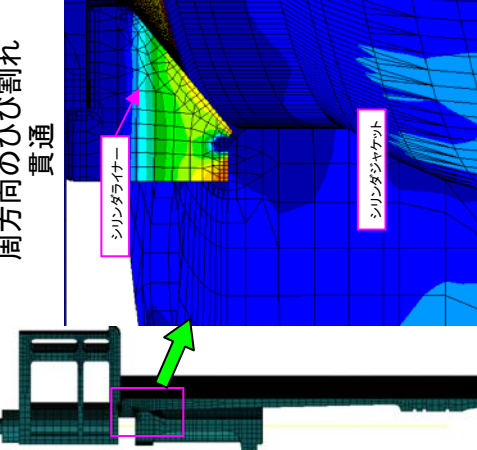



図　No.2 シリンダライナー100%負荷運転時の応力の時系列変化

No.8 シリンダライナーひび割れ事象の解析によるメカニズムの検証結果

周方向のひび割れ

メカニズムの概略

・シリンダライナー上部に係るⓑの力とシリンダライナーの着座面に係る力を受けるⓒの力により、シリンダライナーが内周面方向に曲げられるⓕが働く。

・このⓕの曲げ方向の力によって、シリンダライナーの着座面コーナー部位置に引張の力ⓖが働きひびの発生となる。

解析結果による応力分布図

・過大締付け(油圧 110MPa 条件)によって、シリンダライナーつば下Ｒ部に 149.8N/mm² の応力が発生し、材料の最小破断応力 140 N/mm² を超えることから、周方向のひび割れが発生する。

・周方向のひび割れは、シリンダライナーつば下Ｒ部から上部方向に進展する。

・左図応力分布図からも、応力集中箇所がひび割れ先端部に移行し、ひび先端部には引張応力の領域が存在している。

・周方向のひび割れについては、組立時の応力が支配的である。

・尚、シリンダライナーつば部着座面の応力が高い傾向にある箇所は、圧縮方向の応力であり、損傷に至るものではない。

注：本応力分布図は、弾塑性解析により、応力の傾向を確認したものである。

縦方向のひび割れ

メカニズムの概略

・シリンダライナー外周位置に縦方向のひび割れ

・内側につば部が倒れる傾向が大きくなり、外側に円周方向の力が増大する。

解析結果による応力分布図

・左図の応力分布は、シリンダライナーのつば部が欠落している極端な結果図であるが、つば部が内側に倒れる傾向である。

・つば下の外側の下部が応力が大きい傾向にある。

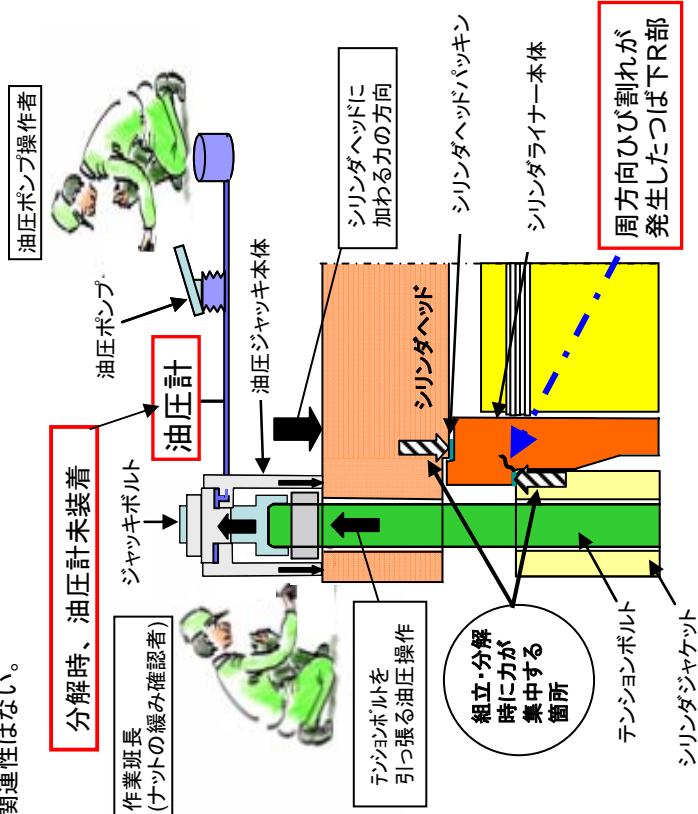
・つば下面の全周に亘り、大きな円周方向応力が発生しており、つば下から縦方向のひび割れが発生する傾向にあることが見られる。

注：本応力分布図は、弾塑性解析により、応力の傾向を確認したものである。

推定原因のまとめ

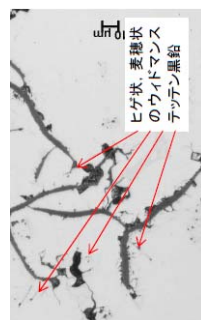
分解時

・シリンダライナーの取り外し作業について、作業要領書に油圧ジャッキ、油圧計の取り扱いが明確でなかったため、油圧管理を適切に行うことができなかった。
　このため、実際の作業では、油圧計を取り付けずに作業を行い、作業者間の油圧に係る合図が遅れ、圧力をかけ続けたことから、シリンダライナー部に過大な応力がかかり、No.8 シリンダライナーの最小破断応力を超えたため、つば下Ｒ部に初期の周方向のひび割れが発生した。
・調査の過程で一部のシリンダライナーの引張強さの低下※が確認された原因は、シリンダライナー製造会社の製造時に、原材料へ鉛が混入したことにより、鋳造過程でウィドマンステッテン黒鉛が発生したことであることを確認した。
・今回のシリンダライナーのひび割れは、今回のように油圧計を取り付けず作業を行い、圧力を掛けすぎた場合、材料強度の低下には関係なく発生する可能性があることから互いの関連性はない。

油圧ポンプ操作者
分解時、油圧計未装着
作業班長
(ナットの緩み確認者)
ジャッキボルト
油圧ポンプ
油圧計
油圧ジャッキ本体
テンションボルトを
引っ張る油圧操作
シリンダヘッドに
加わる力の方向
シリンダヘッド
シリンダヘッドパッキン
組立･分解
時に力が
集中する
箇所
シリンダライナー本体
周方向ひび割れが
発生したつば下R部
テンションボルト
シリンダジャケット

シリンダ部断面概要図（拡大図）

※No.8 シリンダライナー引張強さ低下の原因

ヒゲ状、麦穂状
のウィドマンス
テッテン黒鉛

組織観察の結果、黒鉛形状の異常（ウィドマンステッテン黒鉛）が確認された。この組織は、ごく微量の Pb が混入した場合に発生する組織形態で引張強さの低下が生じる。

組立作業時及び 25%負荷運転試験時

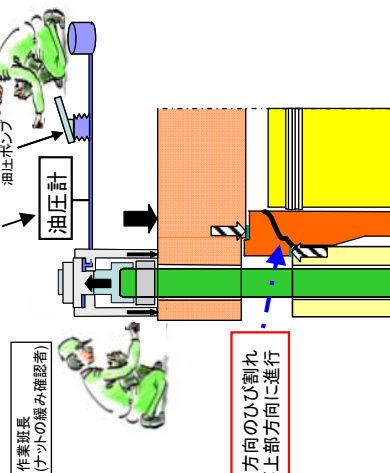
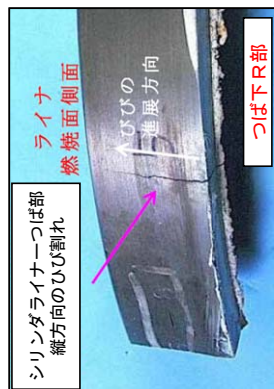
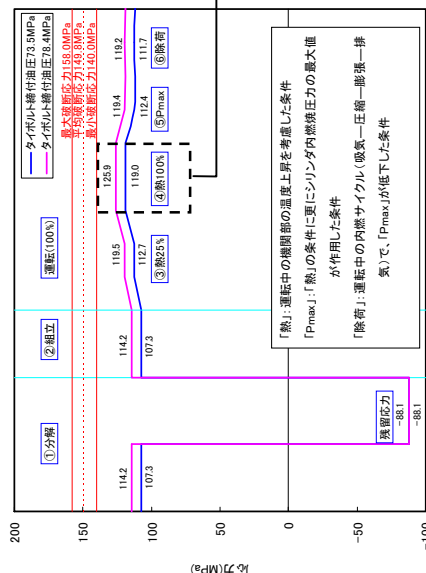
・組立作時の締付けにより発生する応力や 25%負荷運転試験時の熱及び圧力により発生する応力により、シリンダライナーの周方向全体に割れが進展するとともに、つばリング部についても、締付け等から発生する大きな応力が加わり、縦方向の割れが発生したことにより、シリンダライナーの破損に至った。
・ウィドマンステッテン黒鉛の発生によるシリンダライナーの引張強さの低下については、これまでの 20 年間の使用実績及び応力解析により、作業が適正に行われていれば、ひび割れは発生しないことを確認している。

組立作業時及び 25%負荷運転試験時の状況

シリンダライナーつば下 R 部の周方向のひび割れが上部方向に進行

シリンダライナーつば部の縦方向のひび割れが発生（13 本のうち 6 本が貫通）し、排ガスの漏えいが確認された。

シリンダライナーつば部
縦方向のひび割れ
ライナ
燃焼面側面
ひびの
進展方向
つば下R部

応力(MPa)
①分解
②組立
運転(100%)
タイボルト締付油圧73.5MPa
タイボルト締付油圧78.4MPa
最大破断応力158.0MPa
平均破断応力149.8MPa
最小破断応力140.0MPa
114.2
107.3
114.2
107.3
119.5
112.7
125.9
119.0
119.4
112.4
119.2
111.7
③熱25%
④熱100%
⑤Pmax
⑥除荷
残留応力
-88.1
-88.1
「熱」:運転中の機関部の温度上昇を考慮した条件
「Pmax」:「熱」の条件に更にシリンダ内燃焼圧力の最大値が作用した条件
「除荷」:運転中の内燃サイクル(吸気―圧縮―膨張―排気)で、「Pmax」が低下した条件

分解・組立時の油圧操作が適切に行われていれば、100%負荷運転時に発生する応力は 125.9MPa（N/mm²）であり、最小破断応力 140.0MPa（N/mm²）以下であることが、応力解析結果から得られた。

No.8 シリンダライナーの 100%負荷運転時の応力解析結果

再発防止対策整理表

No.	要　因	背景要因に対する 再発防止対策	備　考
(1)	作業要領書の記載不足	シリンダヘッド分解時の手順や工具の取扱方法を明記するとともに、ナット緩め時の圧力を記録することも追加する。	添付資料－59(2/9)(3/9) 作業手順/作業管理チェックシート 添付資料－59(5/9) 点検(検査)記録(機関本体関係) 添付資料－59(7/9) 試験検査用機器・計器手配リスト 添付資料－59(8/9)(9/9) 新規追加要領書添付資料
(2)	作業体制の不備	シリンダヘッド分解時の作業体制(作業指揮者、ナット緩め作業者、ポンプ操作者)を明確に区分し、記録することを明記する。	添付資料－59(3/9) 作業手順/作業管理チェックシート 添付資料－59(5/9) 点検(検査)記録(機関本体関係)
(3)	油圧ジャッキの取扱いの周知不足	油圧ジャッキの取扱い方法を作業前段階で、作業者全員に周知徹底する旨を明記する。	添付資料－59(2/9)(3/9) 作業手順/作業管理チェックシート 添付資料－59(5/9) 点検(検査)記録(機関本体関係) 添付資料－59(8/9)(9/9) 新規追加要領書添付資料
(4)	その他関連事項: 外観点検では確認できないひび割れが発生	今回の作業不備に係る原因のその他関連事項の再発防止対策として、つば下R部の浸透探傷試験の実施を明記する。	添付資料－59(4/9) 作業手順/作業管理チェックシート 添付資料－59(6/9) 浸透探傷検査記録

変更後

作業手順／作業管理チェックシート

0．作業準備／作業前確認（1／2）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 (黒塗り)	記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構		(黒塗り)		記録様式番号
1	作業準備	1) 事前検討会を行い、作業範囲、内容及び注意点を作業者全員に周知徹底する **油圧ジャッキの操作法を作業者全員に周知徹底する**	1) 周辺機器への損傷等ないよう十分に注意する	△	◎	―	―	―			―
		2) 必要道工具、機材、資材類の搬入を行い、数量及び損傷の有無を確認する **圧力計の取付ネジ寸法を確認する**	2) 員数、校正期限有効の確認する	△	○	b	―	―			―
		3) 取替部品の受入れ確認を行う	3) 各機器毎に仕分け及び取替え部品の部品番号（予備品番号）又は照合番号を部品管理シートで確認する	○	◎	a	―	―			1
2	作業前確認	1) 作業エリアの養生、区画を行う	1) D／G室内の床面、側壁をポリシート等で包込み養生を実施する 指先注意	△	○	―	―	―			―
		2) 作業票、作業標示、仮置品標示等の掲示をする	1) 点検架台と給気管の開口隙間を足場板により作業前に塞ぐこと。	△	◎	―	―	―			―
		3) 機関分解前の試運転確認	3) 運転スケジュールはJAEA殿のサーベランス運転に準ずる	●	◎	―	―	―	―	―	―
		a. 機関性能確認	a.各部のデーターを採取し、前回記録との変化を確認する	○	◎	a	―	―	―	―	3-1.2
		b. 各部漏洩の有無確認	b.各箇所、フランジ部等からの洩れの有無を点検する	●	◎	―	―	―	―	―	―
		c. 調速機関係の点検	c.ハンチング等作動状態に異常がないか確認する 各ダイヤル目盛を確認する 判定基準：品質記録用紙参照	●	◎	―	―	―	―	―	―

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認　△：受注者社内検査　受注者　◎：監督者確認　記録a：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　○：作業班長確認　b：自主保管管理

変更点

作業要領書内、作業手順／作業管理チェックシートに下線部追記

・油圧ジャッキ取扱い方法を作業前に作業者全員に周知徹底。
・油圧計仕様確認。
・油圧計事前取付確認

変更前

作業手順／作業管理チェックシート

0．作業準備／作業前確認（1／2）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 (黒塗り)	記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構		(黒塗り)		記録様式番号
1	作業準備	1) 事前検討会を行い、作業範囲、内容及び注意点を作業者全員に周知徹底する	1) 周辺機器への損傷等ないよう十分に注意する	△	◎	―	―	―			―
		2) 必要道工具、機材、資材類の搬入を行い、数量及び損傷の有無を確認する	2) 員数、校正期限有効の確認する	△	○	b	―	―			―
		3) 取替部品の受入れ確認を行う	3) 各機器毎に仕分け及び取替え部品の部品番号（予備品番号）又は照合番号を部品管理シートで確認する	○	◎	a	―	―			1
2	作業前確認	1) 作業エリアの養生、区画を行う	1) D／G室内の床面、側壁をポリシート等で包込み養生を実施する 指先注意	△	○	―	―	―			―
		2) 作業票、作業標示、仮置品標示等の掲示をする	1) 点検架台と給気管の開口隙間を足場板により作業前に塞ぐこと。	△	◎	―	―	―			―
		3) 機関分解前の試運転確認	3) 運転スケジュールはJAEA殿のサーベランス運転に準ずる	●	◎	―	―	―	―	―	―
		a. 機関性能確認	a.各部のデーターを採取し、前回記録との変化を確認する	○	◎	a	―	―	―	―	3-1.2
		b. 各部漏洩の有無確認	b.各箇所、フランジ部等からの洩れの有無を点検する	●	◎	―	―	―	―	―	―
		c. 調速機関係の点検	c.ハンチング等作動状態に異常がないか確認する 各ダイヤル目盛を確認する 判定基準：品質記録用紙参照	●	◎	―	―	―	―	―	―

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認　△：受注者社内検査　受注者　◎：監督者確認　記録a：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　○：作業班長確認　b：自主保管管理

変更後

作業手順／作業管理チェックシート

3．シリンダーヘッド点検作業（1／2）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 (黒塗り)	管理区分 記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構	確認日・確認者 原子力機構	確認日・確認者 (黒塗り)	確認日・確認者 (黒塗り)	記録様式番号
1	点検・手入れ	1)　分解前の外観目視点検を行う		●	◎	a					14-2
		2)　分解、取外しを行う ＊シリンダヘッドナットを緩める際は、油圧圧力が異常上昇させないように段階的に上げて圧力計を確認しながら加圧する事。規定の締め付け圧力の10MPa手前からナットにバーを当て、緩み方向に力をかけながら油圧をゆっくりと上昇させ緩めていく。１個目のナットが緩んだ時点で油圧ポンプの動作を中止し順次ナットを緩めていく。全数のナットが緩むまでこれを繰り返す。78.4MPaを越えない範囲で実施する。 **◆油圧締付治具使用によるナット緩め・締付方法◆** **a. ジャッキを8本テンションボルトに被せナット(図中②)を十分緩めてジャッキボルト(図中①)をテンションボルトにねじ込み、ジャッキボルトの底に当ったら同ボルトを1回転緩める。** **b. ナット(図中②)を軽く締め付けた後、1回転緩める。** **c. 油圧ポンプを作動し、油圧をゆっくり上昇させる。** d. バーで締め付けナットを回して緩める。 e. 締め付け時は締め付けナットを肌締めにしテンションボルトに治具を取付け34.3MPaまで油圧を上昇させ停止、その後規定圧力73.5MPaまで油圧を上昇させ一旦停止の後締め付けナットを締め込む。 f. 油圧を降下させ治具を取外す。 (機関から取り外し後排気弁を分解する)	2) クレーン、玉掛けは有資格者が行う 取外後、ﾎﾟﾘｼｰﾄにより包み込み移動する 吊り具の使用前点検、重心の確認 (ｼﾘﾝﾀﾞｰﾍｯﾄﾞ完備品重量441Kg) (排気弁完備品重量36Kg) ・作業体制(作業指揮者、ナット緩め作業者、ポンプ操作者)を確認し、記録する。 ・油圧の上昇がスムーズでない場合は、油回路内に空気が内在していることが懸念される為、その場合はポンプの加圧継手ホースを緩め空気抜きをする。 ・テンションボルトとジャッキボルトの隙間が不足すると１回の操作で緩みきらない場合が有るので、ｼﾞｬｯｷﾎﾞﾙﾄ及び締め付けﾅｯﾄの１回転(3mm)緩め作業を忘れない事 ・締め付けナットがフリーになるまでの最小圧力は73.5MPa、最大圧力は78.4MPaの範囲で緩む事。	●	◎	a					14-2

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認、ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　△：受注者社内検査　　受注者　◎：監督者確認　　記録a：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　　○：作業班長確認　　b：自主保管管理

変更点

作業要領書内、作業手順／作業管理チェックシートに下線部追記

・シリンダヘッド分解時の手順や工具の取扱方法を添付資料明記。

・ナット緩め時の圧力を記録

・作業体制の確認と油圧ジャッキ取扱い時の注意点の明記

変更前

作業手順／作業管理チェックシート

3．シリンダーヘッド点検作業（1／2）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 (黒塗り)	管理区分 記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構	確認日・確認者 原子力機構	確認日・確認者 (黒塗り)	確認日・確認者 (黒塗り)	記録様式番号
1	点検・手入れ	1)　分解前の外観目視点検を行う		●	◎	a					14-2
		2)　分解、取外しを行う (機関から取り外し後排気弁を分解する)	2) クレーン、玉掛けは有資格者が行う 取外後、ﾎﾟﾘｼｰﾄにより包み込み移動する 吊り具の使用前点検、重心の確認 (ｼﾘﾝﾀﾞｰﾍｯﾄﾞ完備品重量441Kg) (排気弁完備品重量36Kg)	△	○	ー	ー	ー			ー
		3)　手入前に外観目視点検を行う		●	◎	a					5-1.2 14-2
		4)　掃除．手入れを行う	4) 作業姿勢に注意。ｽｸﾚｰﾊﾟｰ使用時は怪我をしないよう指先の位置に注意及び保護具を着用のこと 周囲の清掃、片付	○	○	a	ー	ー			5-1.2
		5)　浸透探傷検査を行う	5)　ＰＴは有資格者による 換気、火気に注意	●	◎	a					5-1.2 16-3
		6)　手入後の外観目視検査を行う		●	◎	a					14-2
		7)　部品交換を行う　(分解時交換)	7) 取替部品照合する	●	◎	a					1
		8)　異物混入防止検査を行う		●	◎	a					17-1
		9)　給・排気弁を組込む	9) 異物なしを確認 締付後マーキング実施する 作業姿勢に注意	△	○	ー	ー	ー			ー
		10)単体水圧漏洩確認を行う	10) 排気弁組込状態で0.98MPa(10Kg/cm2)を30分間保持する 判定基準：品質記録用紙参照	●	◎	a					5-2 18-1.2

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認、ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　△：受注者社内検査　　受注者　◎：監督者確認　　記録a：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　　○：作業班長確認　　b：自主保管管理

変更後

作業手順／作業管理チェックシート

１０．シリンダーライナー・ジャケット点検作業（１／２）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 ■	記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構		■	■	記録様式番号
1	点検・手入れ	1)　分解前の外観目視点検を行う	1)　機関をﾀｰﾆﾝｸﾞしﾋﾟｽﾄﾝを上死点とし、ｸﾗﾝｸ室より目視点検を行う	●	◎	a					14-5
		2)　ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ＆　ｼﾞｬｹｯﾄ抜出しを行う （ジャケット内面のＰＴ検査は平成１５年度で完了済：ＰＴ検査実施せず）	2)　取外時ｸﾗﾝｸ室内をﾎﾟﾘｼｰﾄにより残水受け養生を行なう クレーン、玉掛けは有資格者による吊り具の使用前点検、重心の確認 上下での合図を確実に行う (ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ　重量310Kg) (ｼﾞｬｹｯﾄ　重量330Kg)	△	○	—	—	—			—
		3)　手入前に外観目視点検を行う		●	◎	a					14-5
		4)　掃除を行う	4)　スケール及び塗装を除去する	△	○	—	—	—			—
		5)　シリンダライナーつば下Ｒ部の浸透探傷検査を行う	5)　ＰＴは有資格者による 換気、火気に注意	●	◎	a					16-3
		6)　塗装を行う	6)　水室側防錆塗装を行なう （SDCｺｰﾄ402を２回塗り）	△	○	—	—	—			—
		7)　手入後の外観目視検査を行う		●	◎	a					8-1 14-5
		8)　部品交換を行う　（分解時交換）	8)　取替部品照合する。取替時Oﾘﾝｸﾞにはｸﾞﾘｰｽを、上部嵌合部にはｽﾘｰﾎﾞﾝﾄﾞ	●	◎	a					1
		9)　異物混入防止検査を行う	1211を塗布する	●	◎	a					17-1
		10)ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ＆　ｼﾞｬｹｯﾄ組込みを行う	10)　異物なしを確認する クレーン、玉掛けは有資格者による吊り具の使用前点検、重心の確認 上下での合図を確実に行う 作業姿勢に注意	△	○	—	—	—			—
		11)寸法計測を行う	11)　シリンダーゲージを使用 判定基準：品質記録用紙参照	○	○	a	—	—			8-2

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認、ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　△：受注者社内検査　　受注者　◎：監督者確認　　記録ａ：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　　○：作業班長確認　　ｂ：自主保管管理

変更点

作業要領書内、作業手順／作業管理チェックシートに下線部追記

・検査項目にシリンダライナーつば下Ｒ部への浸透探傷試験を追加

変更前

作業手順／作業管理チェックシート

１０．シリンダーライナー・ジャケット点検作業（１／２）

作業番号	作業項目	作業手順	注意事項	管理区分 原子力機構	管理区分 ■	記録提出区分	確認日・確認者 原子力機構		■	■	記録様式番号
1	点検・手入れ	1)　分解前の外観目視点検を行う	1)　機関をﾀｰﾆﾝｸﾞしﾋﾟｽﾄﾝを上死点とし、ｸﾗﾝｸ室より目視点検を行う	●	◎	a					14-5
		2)　ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ＆　ｼﾞｬｹｯﾄ抜出しを行う	2)　取外時ｸﾗﾝｸ室内をﾎﾟﾘｼｰﾄにより残水受け養生を行なう クレーン、玉掛けは有資格者による吊り具の使用前点検、重心の確認 上下での合図を確実に行う (ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ　重量310Kg) (ｼﾞｬｹｯﾄ　重量330Kg)	△	○	—	—	—			—
		3)　手入前に外観目視点検を行う		●	◎	a					14-5
		4)　掃除を行う	4)　スケール及び塗装を除去する	△	○	—	—	—			—
		5)　塗装を行う	5)　水室側防錆塗装を行なう （SDCｺｰﾄ402を２回塗り）	△	○	—	—	—			—
		6)　手入後の外観目視検査を行う		●	◎	a					8-1 14-5
		7)　部品交換を行う　（分解時交換）	7)　取替部品照合する。取替時Oﾘﾝｸﾞにはｸﾞﾘｰｽを、上部嵌合部にはｽﾘｰﾎﾞﾝﾄﾞ	●	◎	a					1
		8)　異物混入防止検査を行う	1211を塗布する	●	◎	a					17-1
		9)ｼﾘﾝﾀﾞｰﾗｲﾅｰ＆　ｼﾞｬｹｯﾄ組込みを行う	9)　異物なしを確認する クレーン、玉掛けは有資格者による吊り具の使用前点検、重心の確認 上下での合図を確実に行う 作業姿勢に注意	△	○	—	—	—			—
		10)寸法計測を行う	10)　シリンダーゲージを使用 判定基準：品質記録用紙参照	○	○	a	—	—			8-2

【管理区分】　客先　●：立会（全数）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　○：記録確認、ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　△：受注者社内検査　　受注者　◎：監督者確認　　記録ａ：記録提出
◎：立会（抜取）ﾎｰﾙﾄﾞﾎﾟｲﾝﾄ　▲：受注者社内検査（記録提出）　－：該当無し　　○：作業班長確認　　ｂ：自主保管管理

変　更　前

14-2

高速増殖原型炉 もんじゅ

系

点検（検査）記録（機関本体関係）

点検日：平成　　年　　月　　日

原子力機構	立　会□ 記録確認□	

点検責任者	品管担当者	現場監督者	点検者
			判定

(No.)機器名	点検（検査）項目	点検（検査）要領	実施日	点検.検査結果(判定)	確認者 JAEA殿	
(3)シリンダーヘッド	外観目視点検（分解前）	シリンダーヘッド廻りからの燃焼ガスの漏洩及び外面に傷、打痕、変形等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ前）	爆発面の亀裂、損傷、変形、磨耗等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ後）	爆発面の亀裂、損傷、変形、磨耗及びシート面の傷、打痕等の異常の有無を確認	／			
	締付け検査 ① シリンダーヘッド ② 給気管フランジ ③ 排気管フランジ	① 締付け要領：油圧締め 基準トルク値：73.5 MPa (750kg／cm²) ② 締付け要領：手締め 基準トルク値：196 N-m (20kg-m) ③ 締付け要領：手締め 基準トルク値：245 N-m (25kg-m)	／			
	廻止め検査（水連結管）	廻止め方式：水連結管エルボ締付ボルト ⇒ 舌付座金	／			
	据付け状況検査	シリンダーヘッドの配置、据付状態が適正である事の確認 判定基準：異常がないこと	／			
(4)吸・排気弁	外観目視点検（分解前）	排気弁ケースからの冷却水の漏洩及び外面に傷、打痕、変形等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ前）	シート面の亀裂、損傷、磨耗、当り不良等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ後）	シート面の亀裂、損傷、磨耗、当たり不良等の異常の有無を確認	／			
	締付け検査（排気弁）	締付け要領：トルク締め 基準トルク値：118 N-m (12 kg-m)	／			
	廻止め検査（排気弁）	廻止め方式：締付ナット ⇒ 皿バネ座金	／			
	据付け状況検査	給・排気弁ケース配置、据付状態が適正である事の確認 判定基準：異常がないこと	／			

注
1）点検・検査結果（判定）又は、問題点内容を結果（判定）欄に明示する。
2）問題点のある場合は、別途詳細に報告する。
3）問題点の修正結果は据付け状況検査項目に明示する。

変　更　点

作業要領書内、点検（検査）記録（機器本体関係）に下線部追記

- ナット緩め作業時の緩め圧力を記録
- 油圧ジャッキ取付状態を記録
- 作業体制を記録

変　更　後

14-2

高速増殖原型炉 もんじゅ

系

点検（検査）記録（機関本体関係）

点検日：平成　　年　　月　　日

原子力機構	立　会□ 記録確認□	

点検責任者	品管担当者	現場監督者	点検者
			判定

(No.)機器名	点検（検査）項目	点検（検査）要領	実施日	点検.検査結果(判定)	確認者 JAEA殿	
(3)シリンダーヘッド	外観目視点検（分解前）	シリンダーヘッド廻りからの燃焼ガスの漏洩及び外面に傷、打痕、変形等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ前）	爆発面の亀裂、損傷、変形、磨耗等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ後）	爆発面の亀裂、損傷、変形、磨耗及びシート面の傷、打痕等の異常の有無を確認	／			
	緩め時油圧ジャッキ取付状態の確認	油圧ジャッキの取付状態を確認 ジャッキボルト・ジャッキナットの1回転緩め戻し	／			
	緩め検査 ① シリンダーヘッド ② 油圧	緩み圧力（基準油圧値：73.5～78.4MPa） No.：　～　MPa No.：　～　MPa 油圧負荷時に油圧の著しい低下が無い事を確認	／			
	緩め時作業体制確認 ① シリンダーヘッド	危険予知シートの作業員の配員にて確認 指揮者：　ポンプ操作者： 緩め作業者：	／			
	締付時油圧ジャッキ取付状態の確認	油圧ジャッキの取付状態を確認 ジャッキボルト・ジャッキナットの30度緩め戻し	／			
	締付作業体制確認 ① シリンダーヘッド	危険予知シートの作業員の配員にて確認 指揮者：　ポンプ操作者： 緩め作業者：	／			
	締付け検査 ① シリンダーヘッド ② 給気管フランジ ③ 排気管フランジ	① 締付け要領：油圧締め 基準油圧値：73.5 MPa (750kg／cm²) ② 締付け要領：手締め 基準トルク値：196 N-m (20kg-m) ③ 締付け要領：手締め 基準トルク値：245 N-m (25kg-m)	／			
	廻止め検査（水連結管）	廻止め方式：水連結管エルボ締付ボルト ⇒ 舌付座金	／			
	据付け状況検査	シリンダーヘッドの配置、据付状態が適正である事の確認 判定基準：異常がないこと	／			
(4)吸・排気弁	外観目視点検（分解前）	排気弁ケースからの冷却水の漏洩及び外面に傷、打痕、変形等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ前）	シート面の亀裂、損傷、磨耗、当り不良等の異常の有無を確認	／			
	外観目視点検（手入れ後）	シート面の亀裂、損傷、磨耗、当たり不良等の異常の有無を確認	／			
	締付け検査（排気弁）	締付け要領：トルク締め 基準トルク値：118 N-m(12 kg-m)	／			
	廻止め検査（排気弁）	廻止め方式：締付ナット ⇒ 皿バネ座金	／			
	据付け状況検査	給・排気弁ケース配置、据付状態が適正である事の確認 判定基準：異常がないこと	／			

注
1）点検・検査結果（判定）又は、問題点内容を結果（判定）欄に明示する。
2）問題点のある場合は、別途詳細に報告する。
3）問題点の修正結果は据付け状況検査項目に明示する。

変更前	変更点	変更後
(様式 16-3 下記)	作業要領書内、新党探傷検査記録に下線部追記 ・検査項目にシリンダライナーつば下R部への浸透探傷試験を追加	(様式 16-3 下記)

変更前

16-3

高速増殖原型炉 もんじゅ

系

浸透探傷検査記録

点検日：平成 年 月 日

原子力機構	立会□ 記録確認□	
点検責任者	品管責任者	現場監督者

点検者

判定

No.	部品名	シリンダーNo.	探傷位置	探傷時間 浸透	現像	結果	点検月日	御立会者	試験面温度(℃)
1	クランク軸	No.	R部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
2	シリンダーヘッド	No.	爆発面	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
		No.	吸気弁シート 部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
3	吸・排気弁	No.	ｼｰﾄ面、盛金境界面	分	分		/	／	
		No.	及びｺｯﾀｰ嵌合部	分	分		/	／	
		No.	排気弁シート部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
4	ピストン	No.	爆発面	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
		No.	ﾍｯﾄﾞ位置決めﾋﾟﾝ	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
5	ピストンピン	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
6	連接棒	No.	桿部及びｾﾚｰｼｮﾝ・	分	分		/	／	
		No.	ﾋﾟｽﾄﾝﾋﾟﾝﾒﾀﾙ	分	分		/	／	
7	クランクピンメタル	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
8	クランクピンボルト	No.	あご部	分	分		/	／	
		No.	ネジ付け根部	分	分		/	／	
9	始動弁	全筒	本体及び弁棒ｼｰﾄ部	分	分		/	／	
10	主軸受メタル	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
11	基準軸受メタル		摺動部	分	分		/	／	
12	燃料高圧管	No.	ｼﾞｮｲﾝﾄ溶接部	分	分		/	／	

探傷液名【判定基準】JIS Z2343により実施し「ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子力施設に関する構造等の技術基準」の別表第25による。

浸透液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1ANT

現像液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1SNT

洗浄液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1MNT

検査員	試験員

試験面状態	温度	℃ ℃	照度	lx
計測機器	照度計		直尺	
	放射温度計		ストップウォッチ	

変更後

16-3

高速増殖原型炉 もんじゅ

系

浸透探傷検査記録

点検日：平成 年 月 日

原子力機構	立会□ 記録確認□	
点検責任者	品管責任者	現場監督者

点検者

判定

No.	部品名	シリンダーNo.	探傷位置	探傷時間 浸透	現像	結果	点検月日	御立会者	試験面温度(℃)
1	クランク軸	No.	R部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
2	シリンダーヘッド	No.	爆発面	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
		No.	吸気弁シート 部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
3	吸・排気弁	No.	ｼｰﾄ面、盛金境界面	分	分		/	／	
		No.	及びｺｯﾀｰ嵌合部	分	分		/	／	
		No.	排気弁シート部	分	分		/	／	
4	ピストン	No.	爆発面	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
		No.	ﾍｯﾄﾞ位置決めﾋﾟﾝ	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
5	ピストンピン	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
6	連接棒	No.	桿部及びｾﾚｰｼｮﾝ・	分	分		/	／	
		No.	ﾋﾟｽﾄﾝﾋﾟﾝﾒﾀﾙ	分	分		/	／	
7	クランクピンメタル	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	
8	クランクピンボルト	No.	あご部	分	分		/	／	
		No.	ネジ付け根部	分	分		/	／	
9	始動弁	全筒	本体及び弁棒ｼｰﾄ部	分	分		/	／	
10	主軸受メタル	No.	摺動部	分	分		/	／	
		No. －		分	分		/	／	
11	基準軸受メタル	－	摺動部	分	分		/	／	
12	燃料高圧管	No. 1～12	ｼﾞｮｲﾝﾄ溶接部	分	分		/	／	
13	ライナー	No.	つば下R部	分	分		/	／	
		No.		分	分		/	／	

探傷液名【判定基準】JIS Z2343により実施し「ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子力施設に関する構造等の技術基準」の別表第25による。

浸透液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1ANT

現像液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1SNT

洗浄液	メーカー	タイプ
	栄進化学	R－1MNT

検査員	試験員

試験面状態	温度	℃ ℃	照度	lx
計測機器	照度計		直尺	
	放射温度計		ストップウォッチ	

変更前

試験検査用機器・計器手配リスト [黒塗り]

No	品名	仕様	製造番号	検査日	有効期限	備考
38	圧力計	0～1MPa				
39	圧力計	0～1MPa				
40	ﾃﾞｼﾞﾀﾙ照度計	IM-5				
41	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
42	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
43	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
44	放射温度計	0～750℃				
45	ｽﾄｯﾌﾟｳｫｯﾁ	so56-4000				
46	直尺	150mm				
47	巻尺	5.5m				
48	絶縁抵抗計	0～1000V				
49	振動計	VM3004SI				
50	クランプ漏洩電流計	3283				
51	ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾊﾝﾄﾞﾀｺﾒｰﾀ	0～99000r/min				
52	機械式圧力計	0～70MPa				
53	ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ圧力校正器	-0.1～2MPa				
54	DCｼｸﾞﾅﾙｿｰｽ	7011				
55	ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁﾒｰﾀｰ	7351A				
56	ﾕﾆﾊﾞｰｻﾙﾊﾟﾙｽｼﾞｪﾈﾚｰﾀ	WF1943A				
57	圧力計	0～6MPa				
58	圧力計	0～5MPa				
59	圧力計	0～150MPa				
60	PT検査資格証明書					
61	PT剤					
62	スヌープ					
63	酸素ガス検知器	OX-02				
	（以下余白）					

2／2

変更点

作業要領書内、点検検査用機器・手配リストに下線部追記

・油圧計の仕様（取付ネジ寸法）を記載

変更後

試験検査用機器・計器手配リスト [黒塗り]

No	品名	仕様	製造番号	検査日	有効期限	備考
38	圧力計	0～1MPa				
39	圧力計	0～1MPa				
40	ﾃﾞｼﾞﾀﾙ照度計	IM-5				
41	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
42	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
43	ｶﾞﾗｽ棒状温度計	0～100℃				
44	放射温度計	0～750℃				
45	ｽﾄｯﾌﾟｳｫｯﾁ	so56-4000				
46	直尺	150mm				
47	巻尺	5.5m				
48	絶縁抵抗計	0～1000V				
49	振動計	VM3004SI				
50	クランプ漏洩電流計	3283				
51	ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾊﾝﾄﾞﾀｺﾒｰﾀ	0～99000r/min				
52	機械式圧力計	0～70MPa				
53	ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ圧力校正器	-0.1～2MPa				
54	DCｼｸﾞﾅﾙｿｰｽ	7011				
55	ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁﾒｰﾀｰ	7351A				
56	ﾕﾆﾊﾞｰｻﾙﾊﾟﾙｽｼﾞｪﾈﾚｰﾀ	WF1943A				
57	圧力計	0～6MPa				
58	圧力計	0～5MPa				
59	圧力計	0～150MPa				ネジサイズ1／2 油圧ポンプ取付用
60	PT検査資格証明書					
61	PT剤					
62	スヌープ					
63	酸素ガス検知器	OX-02				
	（以下余白）					

2／2

変　更　前	変　更　点	変　更　後
無し	作業要領書添付資料に新規追加 ・シリンダヘッドの分解手順を明記 ・油圧ジャッキの取扱方法を明記	第1章 シリンダヘッド　整理番号：12-3-1A-02A **1.シリンダヘッドの分解要領** (1)シリンダヘッド、油圧締め付け要具を取り付ける ①油圧分配板付の支柱を燃料噴射弁取り付け穴に差し込む。(又は支柱をクレーンで吊っておく) ②ジャッキを8本のタイボルトにかぶせ、②ナットを充分に弛めて、①ジャッキナットをタイボルトにねじ込み、①ジャッキナットの底が当たったら1回転戻す。PC2-3の場合、この時のスキマ　C＝約3mmとなり、タイロットナットの弛め代となる。 注意：タイボルトを緩め過ぎると、ねじ込み不足でネジ部損傷の原因になる。 ③油圧ポンプ側、バルブを開とし、油圧ポンプ側に戻る状態にする。 ④ナット②をジャッキ内部シリンダー④の上面とジャッキ本体の上面がツライチになるまで締め付け、ジャッキ内の油を油圧ポンプ側に戻す。 ⑤ナット②を1回転弛める。(シリンダーヘッド締め付けナットを弛めた時のタイボルトの縮み代になる) ⑥ジャッキ本体の脚部の開放部をナット操作時に右図の様にカバーの外側になる様にセットする。 注意 1. ジャッキ脚部の位置が悪いと(半掛状態)シリンダーヘッドを欠損する恐れが有るので充分注意の事。 2. 油圧ホース取り付け時、逆止弁付きの為ホースを確実にネジ込まないと油圧の戻りが悪くなり、ジャッキ損傷する場合が有るので確実に閉めこむ事。 ⑦油圧ポンプを作動し油圧を除々に上げる。タイロッドナットがフリーになるまでの最少圧力迄とする。 油圧　750～800kg/cm²（73.5～78.4MPa） 注記：油回路内に空気が内在していると圧力が上昇しにくいから要すればホースの継手(カプラー)を弛めて空気を抜く。 ⑧バー(1-3)でタイボルトナットを廻して弛める。この時　ナット穴　6穴弛めること。 ⑨油圧を下げて要具を取り外す。 注意：上記スキマ　C＝約3mmが不足するとタイボルトナットの弛め代が不足し一回のジャッキ操作で弛みきらない場合がある。

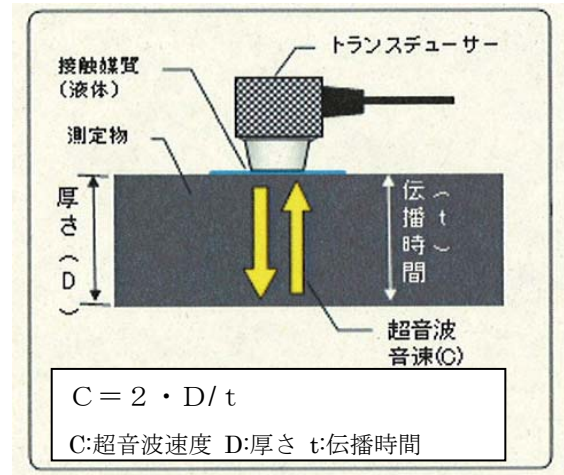
変　更　前	変　更　点	変　更　後
無し	作業要領書添付資料に新規追加 ・シリンダヘッドの分解手順を明記 ・油圧ジャッキの取扱方法を明記	

超音波速度測定原理及び超音波速度と弾性定数（ヤング率）の関係について

1　超音波速度測定原理について

超音波速度の測定の原理については、トランスジューサー（探触子）から発信した超音波が、測定物の反対面に反射し戻ってくる時間（伝播時間）をもとに、超音波速度を算出するものである。

具体的には、厚さ（D）を伝播時間（t）で除し、超音波速度（C）を求めるものである。

測定精度は、±0.5%（at5000　m/s±25m/s）である。

2　超音波速度と弾性定数（ヤング率）の関係について

超音波速度（C）と、固体の持つ弾性定数：ヤング率（E）の関係は、密度（ρ）を用いて下記式で表される。[1]

$$C=\sqrt{(E/\rho)}$$

上記のとおり、固体中の超音波速度は、物質の材質によって違いがあることが知られおり<1>、非破壊検査計測器メーカにおいて、材料のヤング率を評価する手段として、超音波速度測定を用いている。<2>

ヤング率は、弾性範囲内で単位ひずみあたり、どれだけの応力が必要かの値を決める定数である。このヤング率は、一方向の引張応力の方向に対するひずみ量の関係から求められ、縦軸に応力、横軸にひずみをとった応力－ひずみ曲線の傾きに相当するものである。そのため、鋳鉄においても、その傾きが立っていると、ヤング率は高く、引張強さも高いことになる。

3　ウィドマンステッテン黒鉛発生による引張強さ（ヤング率）への影響

ウィドマンステッテン黒鉛が発生すると引張強さが低下することが、文献により確認されている。[2]

また今回、シリンダライナーの構造強度を検証するために FEM 解析を実施したが、解析に必要な応力—ひずみ線図を採取するため、非常用ディーゼル発電機C号機の No.2 及び No.8 を含む９個のシリンダライナーについて、引張試験時に伸び計を取付けてひずみ量の測定を行い、応力—ひずみ曲線図として整理を行なった。

上記、応力—ひずみ曲線図において、スンプ試験によりウィドマンステッテン黒鉛の発生が認められるシリンダライナーは、ヤング率及び引張強さは低い傾向であり、正常な黒鉛組織であるシリンダライナーは、ヤング率及び引張強さは高い傾向にあることが確認された。

（添付−1）

このことから、ウィドマンステッテン黒鉛が発生したシリンダライナーは、ヤング率及び引張強さが低い傾向にあることから、ヤング率及び引張強さと関係のある超音波速度の測定により、シリンダライナーの健全性が確認できる可能性がある。そのため今回、工場に持ち帰ったシリンダライナー12 個分とメーカで保有している予備品 23 個の超音波速度の測定を実施し、シリンダライナーの健全性評価が可能であるか検証を行なった。

（添付-2）

参考文献

[1]超音波探傷試験Ⅱ　2.2 超音波の性質、P2、(社)日本非破壊検査協会

[2]中江、 金、 管野:鋳物 66(7)、 P495-500、 1994-07、 日本鋳造工学会

[3]吉浦、高橋、下部、佐藤、清水:平成 7 年度　研究報告　大分県産業科学技術センター　超音波探傷法による鋳鉄材料の評価技術に関する研究

参考資料

<1>固体中の音速度　物 72(496)-　物 73(497)、理科年表　2001 年版

<2>非破壊検査手段の選択、日本マテック株式会社HPより

応力／ひずみ曲線 ［C系シリンダライナ］
正常な黒鉛組織が確認されたシリンダライナー
ウィドマンステッテン黒鉛が確認されたシリンダライナー
応力(N/mm²)
ひずみ(%)
350
300
250
200
150
100
50
0
-0.10
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
：No.２
：No.４
：No.11
：No.12
：No.５(ｳｨﾄﾞﾏﾝｽﾃｯﾃﾝ黒鉛確認)
：No.７(ｳｨﾄﾞﾏﾝｽﾃｯﾃﾝ黒鉛確認)
：No.８(ｳｨﾄﾞﾏﾝｽﾃｯﾃﾝ黒鉛確認)
：No.９(ｳｨﾄﾞﾏﾝｽﾃｯﾃﾝ黒鉛確認)
：No.10(ｳｨﾄﾞﾏﾝｽﾃｯﾃﾝ黒鉛確認)

ノック位置
A
A
45°
45°
③超音波速度測定
②元素分析
切粉採取穴
φ10×深10（1ヶ所）
化学成分分析の切粉採取
約6g
上端面
③超音波速度測定
φ10×深10
穴
断面 A－A
①スンプ試験
スンプ採取検査位置
φ500
ノック位置
M10×深15
45
20
35
20
664
1089
1044
φ400
160
185
①スンプ試験
スンプ採取検査位置
超音波速度測定位置図

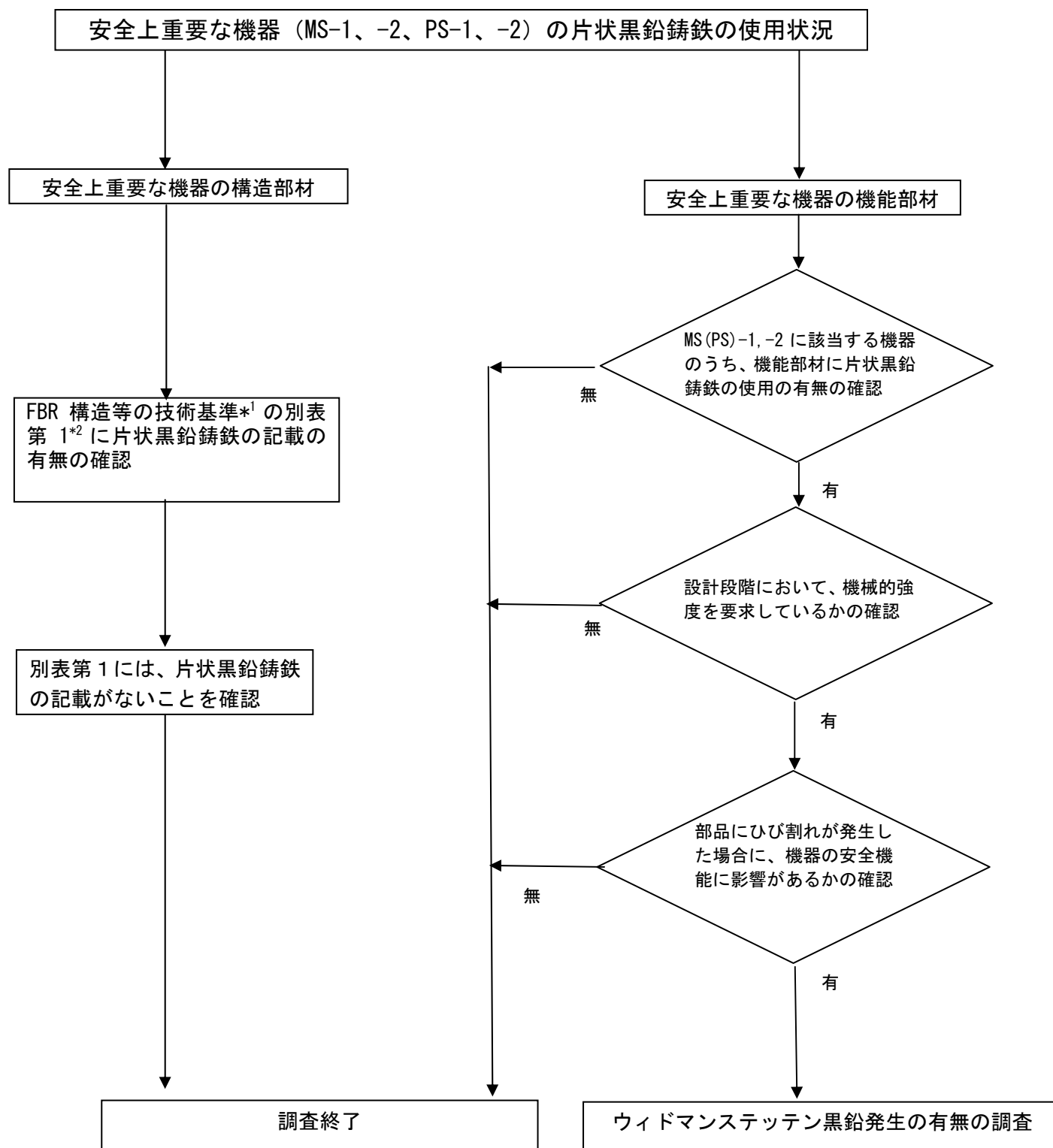
シリンダライナーの超音波速度図
予備品の測定結果
4983m/s～5027m/s
正常黒鉛組織の測定結果
4978m/s～5119m/s
5119
5056
5112
4989
5051
4896
4845
4699
4886
4800
5034
4978
注）
上記プロットは，測定3箇所
の平均値を示す
ウィドマンステッテン黒鉛
が確認された測定結果
4699m/s～4896m/s
予備品の
シリンダライナー
C号機の
シリンダライナー
超音波速度（m/s）
5200
5100
5000
4900
4800
4700
4600
4500
4400
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
No.1
No.2
No.3
No.4
No.5
No.6
No.7
No.8
No.9
No.10
No.11
No.12
シリンダライナー番号

引張強さと超音波速度の関係図
①で得られた線形近似線にシリンダライナー中部箇所の強度低下を考慮したもの。
（ウィドマンステッテン黒鉛が発見されたNo.5、No.7、No.8、No.9、No.10シリンダの中部引張強さの最小値と下部引張強さの最大値の差が最大となる23N／mm2（No.5）を考慮）
メーカ管理値（245N／mm2）における
超音波速度：4933.6m/s
・ウィドマンステッテン黒鉛発生の有無を判定する
基準値4960m/s≒4933.6+25(測定精度)
メーカ管理値（245N／mm2）における
超音波速度：4881.5m/s≒4900m/s
注）
左記プロットは、測定3箇所の平均値を示す
①最小2乗法で得られた線形近似線
4933.6
4881.5
No.2
No.11
No.4
No.12
No.5
No.9
No.7
No.10
No.8
超音波速度（m/s）
5200
5100
5000
4900
4800
4700
4600
0
50
100
150
200
245
250
300
350
400
450
引張強さ（N/mm2）

試験片切出し図

引張試験片 上－1 上－2 上－3
ノック位置
上端面
切断位置：上端面から約200mmで実施
切断位置：下端面から約700mmで実施
引張試験片 中－1 中－2 中－3
切断位置：下端面から約250mmで実施
引張試験片 下－1 下－2 下－3
200 170 189 639 170 700 250 170 30 30 30

ウィドマンステッテン黒鉛が確認された C 号機シリンダライナー引張試験結果					
ライナーNo.試験片番号	引張強さ【N/mm^2】(図面指示 245 N/mm^2 以上)				
	No.5	No.7	No.8	No.9	No.10
上－1	226	274	151	265	214
上－2	219	264	149	265	223
上－3	217	264	147	253	218
中－1	224	245	146	225	210
中－2	228	242	140	228	204
中－3	226	240	147	234	207
下－1	240	243	154	240	216
下－2	247	241	156	246	220
下－3	241	249	158	246	223
平均値	230	251	150	245	215
下(最大)—中(最小)	23	9	18	21	19

下部の引張強さの最大値と中部の最小値との差が最大となるシリンダライナーは、No.5 (23N/mm^2)である。本値を余裕として近似式に考慮する。

*1：「ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準（内規）：
平成16年7月29日付け平成16・07・14原院第2号NISA-324c-04-03」

:*2：「別表第１　使用する材料の規格」

水平展開対象の調査フロー